PEEIC
GUIDE D'ÉVALUATION
DU RENDEMENT DES SYSTÈMES
MOTEURS ÉCOÉNERGÉTIQUES
OHM
X1K
DC
Ressources naturelles Canada
Office de l'efficacité énergétique
Natural Resources Canada
Office of Energy Efficiency
Canada

REMERCIEMENTS

La présent guide sur la mise en œuvre de projets de systèmes moteurs à haut rendement a été produit par l'Office de l'efficacité énergétique (OEE) de Ressources naturelles Canada (RNCan), avec l'aide de membres de groupes de travail formés dans le cadre du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC). L'OEE tient à remercier toutes les personnes et entreprises qui ont consacré temps et efforts à sa conception.

Guide d'évaluation du rendement des systèmes moteurs éconergétiques

La présent guide sur la mise en œuvre de projets de systèmes moteurs à haut rendement a été produit par l'Office de l'efficacité énergétique (OEE) de Ressources naturelles Canada (RNCan), avec l'aide de membres de groupes de travail formés dans le cadre du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC). L'OEE tient à remercier toutes les personnes et entreprises qui ont consacré temps et efforts à sa conception.

Données de catalogage avant publication
Entrée principale sous le titre : *Guide d'évaluation du rendement des systèmes moteurs éconergétiques*

Également publié en anglais sous le titre : *Energy-Efficient Motor Systems Assessment Guide*
Publié par Ressources naturelles Canada.
ISBN 000-662-L83736-3
No de catalogue M92-165/1999F

1. Économie d'énergie
2. Moteurs — Consommation d'énergie
3. Moteurs électriques — Consommation d'énergie
4. Turbomachines — Rendement
I. Canada. Ressources naturelles Canada
II. Canada. Office de l'efficacité énergétique

TJ163.3E57 1999 333.793 C99-980223-2

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2001

Pour recevoir d'autres exemplaires de cette publication gratuite, écrivez à :
Ressources naturelles Canada
Office de l'efficacité énergétique
Division des programmes des secteurs industrial, commercial et institutionnel
580, rue Booth, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Téléphone : (613) 995-6950
Télécopieur : (613) 947-4121

Vous pouvez également consulter ou commander d'autres publications de l'Office de l'efficacité énergétique en ligne. Visitez notre bibliothèque virtuelle Publication Éconergie à http://oee.rncan.gc.ca/infosource.

Dénégation de responsabilité
Le gouvernement du Canada, ses ministres, représentants, employés et agents ne peuvent garantir l'exactitude ou la complétude de ce rapport et n'assument aucune responsabilité liée à l'utilisation de l'information contenue dans ce rapport.

Papier recyclé

104-02201/

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 4

2 Gestion efficace des systèmes moteurs 5

2.1 Éléments d'un système moteur 6
2.2 Considérations économiques 6
2.3 Évaluation des systèmes : une priorité 8
2.4 Sept étapes vers l'efficacité des systèmes moteurs 9

3 Points fondamentaux du système 10

3.1 Facteurs influant sur la consommation d'énergie des systèmes moteurs 10
3.2 Courbe ou graphique de durée 11
3.3 Principes d'affinité pour les turbomachines 11

4 Détermination des systèmes acceptables 12

4.1 Possibilités d'amélioration des systèmes de ventilateurs, de pompes et de compresseurs 13

5 Moteurs à haut rendement 15

5.1 Coût du moteur durant son cycle de vie 15
5.2 Réglementation fédérale sur le rendement des moteurs 16
5.3 Considérations sur l'installation et l'utilisation des moteurs 17
5.4 Politique sur les moteurs 18
5.5 Entretien 21

6 Techniques de gestion des systèmes moteurs 22

7 Systèmes de ventilateurs 26

7.1 Tableau de sélection et d'utilisation des ventilateurs 26
7.2 Possibilités relatives aux systèmes de ventilateurs 27
7.3 Mécanismes de contrôle 28
7.4 Liste de vérification des données sur les systèmes de ventilateurs 29

8 Systèmes de pompes 30

8.1 Possibilités relatives aux pompes 31
8.2 Liste de vérification des données sur les systèmes de pompes 32

9 Mécanismes d'entraînement à vitesse réglable 33

9.1 Considérations sur les applications 34
9.2 Liste de vérification des données sur les mécanismes d'entraînement à vitesse réglable 36

10 Compresseurs et systèmes à air comprimé 37

10.1 Possibilités d'économies d'énergie 38

11 Sites Web – Information sur les systèmes moteurs 40

1 INTRODUCTION

Le *Guide d'évaluation du rendement des systèmes moteurs éconergétiques* renferme des outils visant à faire connaître les concepts de gestion des systèmes moteurs, à déterminer les projets potentiels pour en améliorer le rendement et à faciliter l'évaluation des plans de perfectionnement de ces systèmes.

2 GESTION EFFICACE DES SYSTÈMES MOTEURS

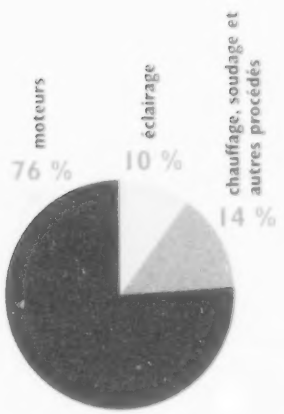
Les systèmes moteurs à haut rendement aident à accroître les bénéfices nets.

Les systèmes moteurs consomment plus de 75 % de l'électricité d'une usine. Les moteurs font fonctionner tous les types d'équipement de transformation, et ont un effet direct sur la productivité d'une installation et la qualité du produit. Un rendement énergétique accru permettra de diminuer les frais d'exploitation de votre usine et d'en augmenter la productivité.

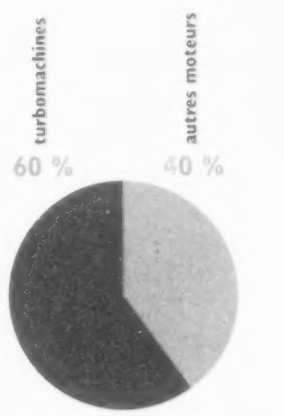
Étudier la question du rendement énergétique lors de la conception et de la sélection des équipements constitue une pratique commerciale avisée. Souvent, c'est en s'efforçant d'améliorer l'efficacité d'un système moteur que l'on découvre des solutions à bon nombre de problèmes de production et d'entretien. Par définition, un système moteur comprend tous les composants depuis l'intrant énergétique initial jusqu'à l'utilisation en fin de procédé. Dans cette perspective, la consommation d'énergie correspond à la quantité d'énergie utilisée par produit fabriqué. La gestion d'un système moteur comprend la capacité de tirer le plein rendement de ce système tout en réduisant le plus possible ses frais d'exploitation et en maintenant une production efficace et fiable. La gestion efficace des systèmes moteurs crée une synergie entre les programmes d'entretien préventif, le fonctionnement des équipements et la productivité du procédé pour établir une politique de réparation et de remplacement basée sur l'engagement envers le choix et l'utilisation d'équipement à haut rendement énergétique.

Habituellement, la valeur de ces avantages ne se limite pas aux économies d'énergie. Des améliorations peuvent être obtenues dans les domaines de la productivité, de la fiabilité et des coûts.

AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ	AMÉLIORATION DE LA FIABILITÉ	RÉDUCTION DES COÛTS
Meilleur contrôle sur les exigences en matière de procédés	Arrêts programmés au lieu d'arrêts imprévus pour l'entretien	Fonctionnement plus efficace
Possibilité d'atteindre les objectifs de production plus aisément	Prolongement des périodes de production entre les périodes d'entretien	Réduction des coûts d'entretien
Réduction des pertes et des reprises	Prolongement de la durée de vie des équipements	Diminution du coût d'énergie à l'unité

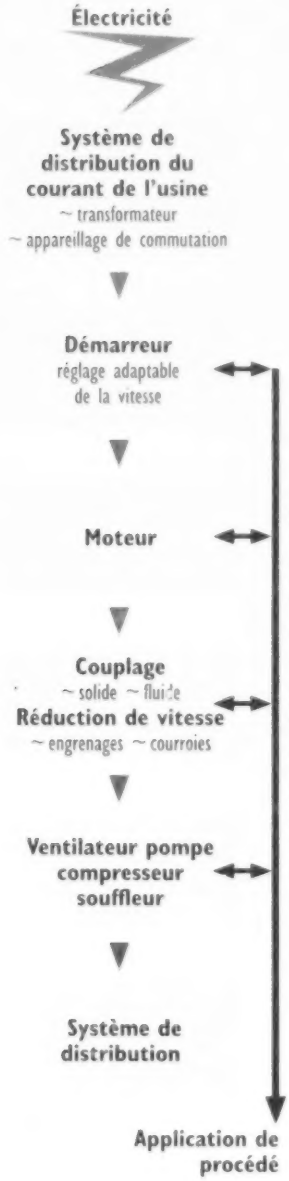


VENTILATION DE LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ EN USINE



LES TURBOMACHINES COMPRENNENT LES VENTILATEURS, LES POMPES ET LES COMPRESSEURS

SCHÉMA DU SYSTÈME



2.1 ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME MOTEUR

Les systèmes moteurs comprennent un certain nombre de composants, comme l'illustre la figure ci-dessous. Chaque installation possède un certain nombre de systèmes, comme les systèmes de ventilation, de chauffage et de réfrigération, ainsi que les systèmes de chaudières à combustion et les systèmes à air comprimé. Les éléments communs à tous les systèmes sont l'énergie consommée, le matériel de conversion d'énergie, les mécanismes de contrôle et une production de qualité satisfaisant aux exigences en matière de procédé.

L'approche proposée permet d'adapter avec précision et efficacité le rendement du système aux exigences du procédé industriel. Le présent guide est axé sur les systèmes les plus énergivores de l'industrie. Ces systèmes comportent des ventilateurs, des pompes et des compresseurs qui répondent aux exigences particulières en matière de productivité et se révèlent nécessaires pour la maintenir à un niveau élevé.

APPLICATION	RESSOURCE	EXIGENCES DE RENDEMENT
Équipement pneumatique	Air comprimé	Pressions et débits adéquats
Contrôle de température pour le procédé	Liquides ou gaz, chauds ou froids	Écarts de températures et de débits
Transport de matériel, mixage	Débit fluide – liquide/gaz	Maintien du débit en volume
Machines motrices, convoyeurs	Puissance motrice	Vitesse/couple du procédé
Énergie hydraulique	Fluide pressurisé	Pression et débit adéquats
Chauffage et ventilation	Écoulement d'air	Maintien du débit en volume

2.2 CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

L'analyse du cycle de vie peut vous permettre de cerner de nouvelles possibilités d'augmenter vos profits.

La consommation d'énergie des systèmes moteurs a une incidence directe sur les bénéfices nets. Les systèmes moteurs influent sur les coûts variables et les coûts fixes. Bien que les coûts en énergie puissent ne pas constituer un haut pourcentage de vos frais de production, toute réduction de la consommation d'énergie fera augmenter votre marge de profit. Par exemple, si vos profits sont de 10 % et que la consommation d'électricité représente en moyenne 4 % de vos frais de production, alors une réduction de 25 % des coûts d'énergie augmentera vos profits de 10 % pour le même volume de ventes.

Tout d'abord, le coût de chaque composant ou système doit être examiné par rapport à son cycle de vie pour chaque application. Les coûts en énergie durant la vie utile d'un moteur ou d'un système sont souvent de plusieurs fois supérieurs au coût marginal d'achat d'équipement à haut rendement énergétique. On devra prévoir dans les calculs financiers une estimation des économies annuelles réalisées grâce à une meilleure fiabilité, à une réduction des temps d'arrêt, à des frais d'exploitation plus bas et à une meilleure productivité. La valeur monétaire de ces avantages dépasse généralement celle des économies d'énergie à elles seules; elle doit donc être prise en compte dans l'évaluation des différentes solutions en matière d'économie d'énergie.

Les comparaisons sont souvent simplifiées en fonction :

- du coût marginal. Il s'agit du supplément payé par rapport au prix d'un composant à rendement inférieur et dont on doit tenir compte quand on prévoit remplacer un composant;
- du coût total d'achat, moins les frais à verser pour ramener l'équipement original à l'état d'équipement neuf; on en tient compte au moment de remplacer une pièce d'équipement.

Une fois acheté, l'équipement industriel fonctionnera très longtemps. Avec un bon entretien (y compris les rebobinages), un gros moteur peut durer jusqu'à 25 ans avant d'être remplacé. Dans la décision d'achat d'un équipement, une attention particulière devra être portée au rendement énergétique des pièces à acheter, afin de ne pas perdre d'occasions d'accroître l'efficacité énergétique des activités de l'usine.

Les méthodes les plus souvent employées pour comparer les projets sont :

- rendement simple = coût de mise en œuvre du projet ÷ économies annuelles moyennes;
- valeur actuelle nette = calcul de la valeur des coûts et des économies en dollars courants considérés au long de la durée de vie de l'équipement (les économies réalisées devraient être plus importantes que la somme investie);
- taux de rentabilité interne = pourcentage du rendement des économies comparé au coût de mise en œuvre du projet (ce pourcentage de rendement devrait être plus élevé que le pourcentage des coûts de mise en œuvre du projet au sein de l'entreprise).

Déterminez la méthode employée dans votre entreprise. Les déductions pour amortissement et la dépréciation accélérée peuvent réduire encore davantage la période de récupération de l'investissement consenti pour acheter de l'équipement à haut rendement.

Afin de bien calculer les économies d'électricité, assurez-vous d'évaluer tant la consommation que les économies d'énergie. Le coût marginal de l'électricité doit entrer dans le calcul du rendement des économies d'énergie. Le coût du courant apparaît sur votre facture d'électricité ou votre grille de tarif. L'évaluation des coûts devrait être fondée sur la moyenne des coûts en énergie, obtenue en divisant la consommation globale par le coût total. Les économies réalisées en période de consommation réduite et celles qui sont attribuables aux changements de classe de tarification doivent aussi être prises en compte.

2.3 ÉVALUATION DES SYSTÈMES : UNE PRIORITÉ

Adapter les capacités du système aux exigences en matière de production rapporte beaucoup.

L'approche proposée permet d'adapter avec précision le débit et la pression de sortie du système aux exigences en matière de procédé. Grâce à cette approche, vous pourrez obtenir des économies d'énergie de 20 à 50 % comparativement aux économies de 3 à 15 % que vous apporterait l'amélioration du rendement des composants. Des problèmes variés, de nature technique, fonctionnelle et financière, devront être résolus. Pour commencer, identifiez les employés des services d'achat, d'entretien, de production et de planification qui ont la responsabilité d'assurer le bon fonctionnement de l'usine. Ces personnes devront travailler ensemble et comprendre qu'elles en bénéficieront toutes.

Dans des installations dotées d'un grand nombre de systèmes, les directives suivantes pourront être utilisées comme méthode d'attribution des priorités :

- déterminez d'abord les systèmes les plus problématiques;
- examinez les systèmes dont les moteurs ou les composants devront être remplacés ou soumis à un entretien majeur;
- repérez les moteurs de plus de 75 hp fonctionnant au moins 2 000 heures par année; et
- examinez les systèmes munis de souffleurs, de pompes, de ventilateurs et de compresseurs, en particulier ceux dont le débit est contrôlé à l'aide de dispositifs d'étranglement.

L'approche envisageant le système de façon intégrale peut servir à améliorer son efficacité énergétique mais, ce qui importe davantage, elle peut permettre de résoudre les problèmes d'une usine. Ci-dessous se trouvent quelques solutions courantes mentionnées par le personnel d'une usine dans le but de régler le problème commun que constitue le manque de ressources, dans ce cas l'air comprimé. Les principes énoncés peuvent s'appliquer à tout système moteur.

- Puissance – Acheter un compresseur de 50 % plus puissant au plus bas prix ou doubler la capacité du compresseur existant comme unité d'urgence et en période de pointe. C'est une solution à coût initial élevé qui accroît la consommation d'énergie.
- Composants – Remplacer ou réparer les composants qui ne satisfont pas aux exigences initiales, avec un modèle équivalent ou à plus haut rendement. Potentiel d'économie de 15 %.
- Système – Analyser le problème en détail et déterminer les solutions pour l'éliminer. Corriger toute défaillance et adapter correctement les nouveaux composants pour qu'ils répondent aux exigences en utilisant l'option la moins coûteuse et de plus haut rendement. Potentiel d'économie de 20 à 50 % ou plus.

Dans une usine où on avait besoin de plus d'air comprimé, la solution a été d'éliminer les fuites, de réduire la pression de 125 à 110 psi, et d'installer un dispositif de séchage plus efficace ainsi qu'un plus grand réservoir pour les courtes périodes de pointe. Ces mesures ont permis aux employés de remplacer le compresseur par une

unité plus petite et à plus haut rendement, ce qui leur a valu une période de récupération de l'investissement plus rapide et des économies plus substantielles que s'ils avaient remplacé le compresseur par une unité plus grande. Parmi les autres avantages, mentionnons des économies potentielles de 40 %, une fiabilité accrue, un contrôle de pression amélioré et une qualité de produits supérieure, la diminution des pertes de matériel, le prolongement de la durée de vie de l'équipement, des employés moins frustrés et une productivité rehaussée, car le réservoir a été placé près des outils nécessitant la plus haute pression.

2.4 SEPT ÉTAPES VERS L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES MOTEURS

1 **Identification du problème ou de l'objectif**
L'équipe doit consulter les opérateurs de machinerie au début du projet pour gagner leur appui. Les tâches à exécuter comprennent l'étude de la documentation sur le système visé et la définition des objectifs, soit l'économie d'énergie ou l'amélioration du procédé. Déterminez si les problèmes éprouvés sont continus ou non, leur début, les changements survenus dans la production de l'usine ou son fonctionnement, et autres.

2 **Rassemblement d'information**
Faites un diagramme linéaire montrant tous les composants et les charges qui sollicitent la capacité du système. Décrivez le système en indiquant le type de moteur qu'il comporte, son fonctionnement, ses dispositifs de commande et l'information sur les plaques. Une inspection permettra de déterminer si les composants fonctionnent bien et s'ils sont utilisés.

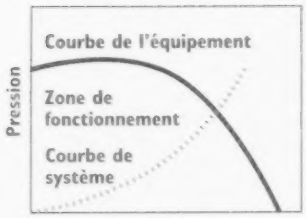
3 **Évaluation de l'exploitation du système**
Préparez un plan définissant les évaluations à faire et les conditions dans lesquelles elles seront effectuées. Évaluez les exigences en matière de besoins opérationnels par rapport aux préférences. Comparez les données obtenues avec l'information sur la conception.

4 **Élaboration d'options techniques**
Déterminez les solutions de rechange, calculez les économies, estimez les coûts de mise en œuvre et évaluez leur faisabilité sur les plans financier et fonctionnel. Déterminez des moyens techniques pour augmenter l'efficacité du système et satisfaire les besoins au chapitre de la production.

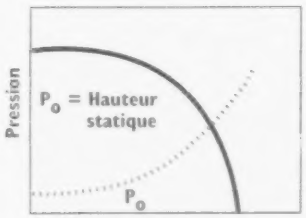
5 **Évaluation des propositions**
Évaluez les options, leurs avantages pour les systèmes, les possibilités d'amélioration et les recommandations. Au besoin, faites appel aux services d'entrepreneurs, de fournisseurs ou de consultants.

6 **Mise en œuvre du projet**
Apportez les changements nécessaires et installez les équipements. Une fois le projet mis en œuvre, évaluez les économies réalisées grâce aux mesures appliquées et comparez-les aux économies prévues.

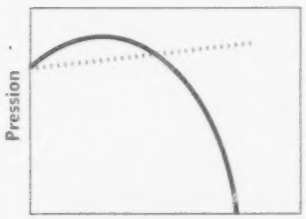
7 **Communication**
Communiquez les activités et les progrès à la direction et au personnel de l'usine. Ceux-ci vous appuieront davantage lors d'initiatives futures.



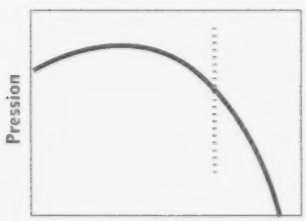
SYSTÈME À RÉSISTANCE FIXE
$P \sim Q^2$
VENTILATEUR À TIRAGE FORCÉ



RÉSISTANCE FIXE À PRESSION STATIQUE
$P \sim (Q^2) + P_o$
POMPE POUR RÉSERVOIR



RÉSISTANCE VARIABLE À PRESSION STATIQUE
P = CONSTANTE
VENTILATEUR À TIRAGE INDUIT



RÉSISTANCE VARIABLE À DÉBIT CONSTANT
Q = CONSTANT
TRANSPORTEUR PNEUMATIQUE

3 POINTS FONDAMENTAUX DU SYSTÈME

La valeur du tout est plus élevée que celle de la somme de ses parties.

Chaque composant du système a son propre rendement. Pour rendre le système le plus efficace possible, chaque composant doit être réglé de manière à donner son plein rendement pendant la majorité du temps où le système fonctionne. L'efficacité du système dépend de la quantité d'énergie consommée pour le travail utile produit ou du nombre d'articles fabriqués. Si nul travail utile ou article n'est produit, le rendement du système tombe à zéro. Le rendement total à un point donné de l'exploitation est le produit de l'efficacité (E) de chaque composant du système.

$$E_{système} = \frac{\text{production du système}}{\text{cons. totale d'énergie}} = \frac{\text{articles produits}}{\text{[puissance requise / } (E_{composants} \times F_{facteur\ d'effet\ du\ système})]}$$

Le facteur d'effet du système (F) est un multiplicateur qui indique la somme des pertes de charge par frottement et autres pertes du système de distribution.

3.1 FACTEURS INFLUANT SUR LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES MOTEURS

Les moteurs produisent un effet de couple qui fait tourner les ventilateurs et les pompes à une vitesse donnée. Selon une règle simple, le débit est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur et la puissance peut s'élever jusqu'au cube de la vitesse. La courbe de résistance du système (CRS) est utilisée pour déterminer comment les changements de débit influent sur la pression, et est obtenue en mesurant et en déterminant la pression ou la hauteur en fonction de différents débits du système. La courbe peut être superposée aux courbes de pression, de débit, de consommation d'énergie et de rendement d'une turbomachine. Ces courbes peuvent être obtenues auprès des fabricants de pompes et de ventilateurs.

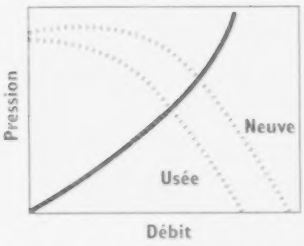
Les courbes des systèmes diffèrent selon leur conception, et chaque CRS est unique. Déterminez le type de système que vous possédez au début de l'évaluation. La zone de fonctionnement se situe à l'intersection de la courbe de rendement de la turbomachine et de la courbe de résistance du système. Ce point d'intersection détermine le débit en volume d'un bout à l'autre du système.

La zone de fonctionnement peut changer en raison :

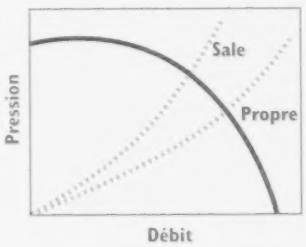
- d'une variation du rendement de la turbomachine – rotor ou boîtier usés, changement de la vitesse de rotation;
- d'un changement de résistance du système – prolongement des conduites, corrosion, trous, accumulation de déchets dans les conduites;
- de variations de la résistance du système ou de la turbomachine.

3.2 COURBE OU GRAPHIQUE DE DURÉE

Au cours de l'année, la plupart des systèmes atteindront différentes zones de fonctionnement en raison de changements au chapitre de la production, des conditions météorologiques et du type de produit fabriqué. Afin de satisfaire aux exigences du système, la courbe de rendement peut être modifiée à l'aide de différentes méthodes de contrôle, comme la variation de la vitesse de rotation (entraînement à vitesse réglable), la réduction du débit (augmentation de la résistance du système) ou le changement des caractéristiques de la turbomachine (variation de l'orientation des ailettes du rotor). Le cycle de charge est illustré par une courbe ou un graphique qui représente, en pourcentage, la durée de fonctionnement par rapport au débit maximum atteint dans chaque zone de fonctionnement. Les installations capables d'atteindre plus de trois zones de fonctionnement peuvent être aisément dotées de mécanismes d'entraînement à vitesse réglable. Celles qui ont quelques zones de fonctionnement distinctes pourraient mieux fonctionner à l'aide d'un moteur à plusieurs vitesses. Les installations à débit constant qui n'atteignent qu'une seule zone de fonctionnement n'ont pas besoin de dispositif de contrôle de débit. Le rendement et la consommation d'énergie doivent être évalués séparément pour chaque zone de fonctionnement; toutefois, il faudra additionner les chiffres obtenus pour faire l'analyse annuelle des coûts.



VARIATION DU RENDEMENT DE LA TURBOMACHINE



CHANGEMENT DE RÉSISTANCE DU SYSTÈME

3.3 PRINCIPES D'AFFINITÉ POUR LES TURBOMACHINES

Afin d'évaluer divers systèmes, on peut recourir aux principes d'affinité pour déterminer comment les changements à une variable influent sur les autres variables telles que la vitesse, le débit, la pression et la consommation d'énergie. Consultez le fabricant afin de déterminer l'incidence des changements sur les courbes de rendement. En général : N = rpm turbomachine, Q = débit, P = pression, Hp = puissance

$$Q_2 \div Q_1 = N_2 \div N_1 \qquad P_2 \div P_1 = (N_2 \div N_1)^2 \qquad hp_2 \div hp_1 = (N_2 \div N_1)^3$$

- Pour la plupart des turbomachines, la consommation d'énergie est proportionnelle au cube de la vitesse de rotation, tandis que le débit est directement proportionnel à cette vitesse. En diminuant la vitesse de 20 %, il est possible de réduire la consommation d'énergie d'environ 50 %.
- Réduire le diamètre du rotor est un moyen efficace pour diminuer le débit et la consommation d'énergie; si $Q_1 \div Q_2 = (N_1 \div N_2) \times (D_1 \div D_2)^3$, et que Q = débit, N = vitesse du ventilateur, D = diamètre du rotor, donc D_2<3% pour les conditions où D_2< 3% de D_1.
- L'augmentation de la friction est proportionnelle au carré de la vitesse du fluide.

4 DÉTERMINATION DES SYSTÈMES ACCEPTABLES

Plus vous en savez, plus vous épargnerez.

Avant d'effectuer une analyse, il est nécessaire de recueillir de l'information sur chaque système pour comprendre son fonctionnement. La précision de l'analyse dépend de la qualité de l'information utilisée. Dans certaines usines, on risque de ne trouver que peu de documentation. Les renseignements compilés pourront aussi être employés dans le but d'établir des programmes d'entretien, de planifier l'optimisation des ressources, de répartir les coûts, de vérifier les stocks de pièces détachées, de réviser les feuilles de spécifications des équipements et d'analyser les fluctuations de la productivité pour annuler les goulots d'étranglement.

Les diagrammes linéaires peuvent faciliter l'organisation des données. La consommation d'énergie de même que les exigences en matière de rendement et de procédé doivent pouvoir être montrées. Tous ces aspects doivent être évalués sur une période d'un an, en raison des changements au chapitre de la température, de l'humidité, de la production saisonnière et de la gamme de produits. Il n'est pas indispensable de posséder tous les renseignements, mais quand on se sert d'estimations, il faut le mentionner comme tel, et noter les hypothèses émises. La compilation de données a pour but d'établir des zones de fonctionnement précises, qui tiennent compte de la capacité de rendement du système et des impératifs en matière de procédé.

L'information peut provenir des sources suivantes :

- la plaque indicatrice de chaque composant du système;
- les spécifications du fabricant et les graphiques sur le rendement;
- les registres de production, les factures des services publics, les graphiques de fonctionnement montrant la consommation d'énergie, le débit et la pression sur une période d'un an;
- les données sur chaque procédé ou piece d'équipement sollicitant les ressources du système;
- les diagrammes sur le procédé et l'instrumentation, y compris la stratégie de contrôle du système;
- les évaluations en usine.

Quelques renseignements peuvent ne pas être disponibles; les données manquantes devront donc être obtenues au moyen d'évaluations. Il est souvent possible d'obtenir de l'information sur le système en examinant l'équipement en place. Les plans devront être vérifiés pour s'assurer qu'ils montrent les derniers changements effectués. Les données sur les systèmes courants de pompes, de compresseurs et de ventilateurs doivent porter sur :

- l'énergie fournie – tension, taille des conducteurs, calibre des disjoncteurs, capacité du transformateur et de ses bornes, calibre des commutateurs, équilibre de phases, facteur de puissance, courant de pointe;
- la commande de moteur – type, consigne de surcharge, caractéristiques de démarrage, système de verrouillage;

- le moteur – type, puissance, rendement, fabricant, tension, courants de pointe, taille de la carcasse, heures de fonctionnement, numéro du modèle, vitesse de rotation, vitesses multiples, classification NEMA;
- la transmission – type, capacité de réglage de la vitesse, rapport de vitesse et couple nominal;
- la charge entraînée – type, rendement, puissance et vitesse nominales, fabricant, modèle;
- les effets de système – réducteurs de débit, soupapes, clapets, conditions aux ouïes d'entrée et de sortie;
- les exigences relatives à la charge – débit, pression, température, vitesse, heures de fonctionnement; et
- les dispositifs de commande – automatique, manuelle, instruments de mesure, techniques d'exploitation.

4.1 POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DES SYSTÈMES DE VENTILATEURS, DE POMPES ET DE COMPRESSEURS

Un système qui fonctionne n'est pas nécessairement un système éconergétique.

Il faut comprendre le fonctionnement des ventilateurs, des pompes et des compresseurs pour concevoir un système moteur éconergétique. Les tableaux suivants décrivent les possibilités d'optimiser les systèmes moteurs. Le terme « fluide » est utilisé pour parler des gaz ou des liquides.

POSSIBILITÉS	SYSTÈMES INEFFICACES
Mauvais choix de point de consigne	• En raison des changements apportés au procédé, un système peut atteindre un point différent de sa courbe de rendement, ce qui amoindrit son efficacité. • Certains systèmes fonctionnent avec une large gamme de débits moyens à cause des changements à la production et des variations des températures saisonnières. • Certaines machines surdimensionnées fonctionnent toujours à capacité réduite.
Âge	• Le rendement énergétique et l'efficacité du vieil équipement n'ont souvent reçu que peu d'attention du concepteur à l'origine. • Les machines ayant subi plusieurs révisions générales sont inefficaces. • La machinerie moderne, construite à l'aide des matériaux nouveaux, s'écarte moins des normes établies.
Autres méthodes	• Certaines applications peuvent être accomplies avec un équipement plus efficace, des instruments améliorés et d'autres techniques de fabrication. • Les périodes d'entretien devront être adaptées aux nouvelles conditions dans lesquelles il faudra procéder au remplacement des filtres, vérifier la propreté des surfaces d'échange de chaleur, maintenir une lubrification suffisante et vérifier l'étanchéité et la mobilité des joints.

POSSIBILITÉS	DÉBITS ET PRESSIONS EXCESSIFS
Débit excessif	• Un débit et une pression supérieurs ne sont pas toujours mieux; il existe de meilleurs dispositifs de contrôle du débit que les soupapes et les clapets. • Il est important de bien comprendre les exigences relatives au procédé et d'adapter la production du système à ces exigences.
Pertes de débit	• Le cycle de certains procédés comporte des périodes où il n'y a nul besoin de fluide. Le fluide inutilisé est redirigé dans un système de contournement ou il est renvoyé à un réservoir. • Certains systèmes fonctionnent pendant que la production est stoppée. • Certains systèmes à distribution multipoint peuvent avoir des orifices inutilement ouverts, ou qui sont devenus superflus. • Des dommages, de mauvais joints ou la corrosion peuvent occasionner des fuites excessives de fluide. • Un rotor mal adapté à son boîtier peut devenir moins efficace.
Pertes de pression	• La perte de pression augmente de façon exponentielle en fonction de la vitesse du débit. • Les transitions en douceur, spécialement pour ce qui est de l'aspiration, réduisent les pertes de pression. • Les méthodes de construction utilisées pour contourner des structures ou des équipements d'usine peuvent causer des étranglements de conduites. • On doit s'assurer que les soupapes et les clapets ne sont pas figés en position partiellement fermée. • Les filtres bouchés, les tuyaux corrodés et un entretien insuffisant entraînent d'autres problèmes.

POSSIBILITÉS	ÉQUIPEMENT SURDIMENSIONNÉ ET CONTRÔLE INEFFICACE

Système fonctionnant à capacité restreinte de façon continue	• Certaines machines fonctionnent continuellement avec des clapets et des soupapes partiellement fermés, gaspillant ainsi de l'énergie.
	• Une analogie peut être établie avec un automobiliste roulant sur l'autoroute, l'accélérateur à fond, et contrôlant la vitesse seulement avec le frein.
	• Ce problème peut se produire, entre autres, parce que :
	  ◦ les marges de sécurité originales sont trop grandes;
	  ◦ une pièce d'équipement sert aujourd'hui à une autre application;
	  ◦ un composant retiré réduit la perte de pression.

Fonctionnement inutile	• En raison de la grande importance accordée à la production dans les installations industrielles, on peut régler les machines de manière à ce qu'elles fonctionnent dans les pires conditions, sans toutefois songer aux simples mesures d'économie d'énergie. • Parfois, l'ajout de séquenceurs de commandes peut permettre d'interrompre au besoin le fonctionnement de la turbomachine. • Les dispositifs de contrôle par rétroaction sont réglés au maximum ou déconnectés.

5 MOTEURS À HAUT RENDEMENT

Optez pour les moteurs à haut rendement lors de l'achat d'équipement neuf ainsi que du remplacement ou de la réparation des moteurs standard.

Le principal avantage des moteurs à haut rendement (HEM) est l'économie d'énergie qu'ils permettent de réaliser. Consommant de 1 à 4 % moins d'électricité que les moteurs standard, ils sont généralement plus fiables et plus durables et ils imposent une charge moins lourde au transformateur. Sur le plan de la conception, les HEM présentent les avantages suivants :

- ils contiennent de 20 à 60 % plus de cuivre et jusqu'à 35 % de plus de laminas magnétiques d'acier de haute qualité;
- la conception du bras du rotor entraîne moins de pertes; et
- ils ont été fabriqués selon des méthodes et des techniques optimisées réduisant les pertes.

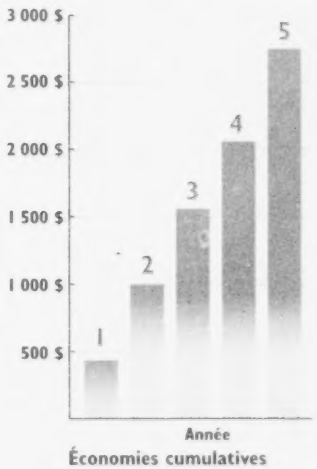
Avantages découlant du choix de moteurs à haut rendement

- prolongation de la durée de vie des bobinages et des roulements
- meilleur comportement pendant les surcharges de courte durée
- capacité de supporter de plus grandes fluctuations de tension ou des déséquilibres de phases

5.1 COÛT DU MOTEUR DURANT SON CYCLE DE VIE

Tenez compte du prix d'achat et de la consommation d'énergie du moteur durant toute sa vie utile.

Chaque fois que possible, les entreprises devraient essayer d'acheter les moteurs les plus efficaces disponibles sur le marché. En ce qui concerne les moteurs électriques, leur véritable coût apparaît clairement quand nous examinons leur prix d'achat et leurs frais d'exploitation. Un moteur standard coûtant 2 400 $ consommera plus de 144 000 $ en électricité sur une période de fonctionnement de 10 ans. Le prix d'un moteur HEM équivalent sera de 15 à 20 % supérieur, mais il vous permettra d'épargner plus de 4 000 $, soit 600 % de son coût marginal, pendant la même période. Au bout d'environ 1,5 an ou moins, vous aurez récupéré votre investissement!



Achat de moteurs à haut rendement (HEM) : règles simples

- Demandez un HEM pour les nouvelles installations fonctionnant plus de 3 500 heures par an.
- Choisissez un HEM si le moteur doit fonctionner à plus de 75 % de sa capacité.
- Achetez un moteur HEM au lieu de faire rebobiner un vieux moteur standard.
- Demandez un HEM quand vous achetez un équipement complet.
- Utilisez un HEM dans le cadre de votre programme d'entretien préventif.

5.2 RÉGLEMENTATION FÉDÉRALE SUR LE RENDEMENT DES MOTEURS

Assurez-vous que les moteurs que vous achetez surpassent les normes minimales de rendement.

Le Règlement sur l'efficacité énergétique renferme des dispositions sur les moteurs à induction de 1 à 200 hp, polyphasés, monovitesses, de conception NEMA A ou B. Ces dispositions, en vigueur depuis novembre 1997, définissent les normes minimales de rendement pour les moteurs vendus au Canada. Le vendeur – et non l'utilisateur du moteur – est tenu de se conformer à ce règlement. Deux classifications existent :

- les moteurs fermés et refroidis par ventilation, qui sont utilisés dans des environnements poussiéreux et corrosifs. Ils comprennent un ventilateur qui les refroidit;
- les moteurs ouverts et anti-éclaboussures, qui aspirent l'air ambiant pour se refroidir. Ils sont utilisés dans des environnements propres et tolèrent une faible quantité d'éclaboussures de liquides qui frappent l'enveloppe sous un angle pouvant aller jusqu'à 15 degrés vers le bas.

MOTEURS NEMA – NORME D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

ARTICLE	PUISSANCE (HP)	OUVERT (EN POURCENTAGE)			FERMÉ (EN POURCENTAGE)		
		2-pôles	4-pôles	6-pôles	2-pôles	4-pôles	6-pôles
1	1	75,5	82,5	80,0	75,5	82,5	80,0
2	1,5	82,5	84,0	84,0	82,5	84,0	85,5
3	2	84,0	84,0	85,5	84,0	84,0	86,5
4	3	84,0	86,5	86,5	85,5	87,5	87,5
5	5	85,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5
6	7,5	87,5	88,5	88,5	88,5	89,5	89,5
7	10	88,5	89,5	90,2	89,5	89,5	89,5
8	15	89,5	91,0	90,2	90,2	91,0	90,2
9	20	90,2	91,0	91,0	90,2	91,0	90,2
10	25	91,0	91,7	91,7	91,0	92,4	91,7
11	30	91,0	92,4	92,4	91,0	92,4	91,7
12	40	91,7	93,0	93,0	91,7	93,0	93,0
13	50	92,4	93,0	93,0	92,4	93,0	93,0
14	60	93,0	93,6	93,6	93,0	93,6	93,6
15	75	93,0	94,1	93,6	93,0	94,1	93,6
16	100	93,0	94,1	94,1	93,6	94,5	94,1
17	125	93,6	94,5	94,1	94,5	94,5	94,1
18	150	93,6	95,0	94,5	94,5	95,0	95,0
19	175	94,5	95,0	94,5	95,0	95,0	95,0
20	200	94,5	95,0	94,5	95,0	95,0	95,0

Ces niveaux de rendement doivent être considérés comme des normes minimales quand vous achetez un moteur. Les moteurs à haut rendement sont généralement, selon leur taille, de 1 à 4 % plus efficaces que les normes prescrites dans le Règlement sur l'efficacité énergétique.

5.3 CONSIDÉRATIONS SUR L'INSTALLATION ET L'UTILISATION DES MOTEURS

Les changements d'utilisation peuvent modifier le rendement du système.

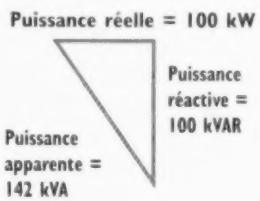
Facteur de puissance

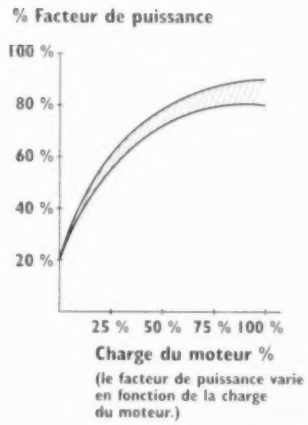
Pour fonctionner, un moteur à induction a besoin de puissance réactive et de puissance réelle. La puissance réelle (kW) produit du mouvement et de la chaleur. La puissance réactive (kVAR) établit le champ magnétique dans le moteur.

PAR EXEMPLE :

Le triangle de puissance montre que 100 ÷ 142 *ou* 70 % du courant fourni par le système électrique sert à produire du travail utile. Le facteur de puissance peut varier d'après la conception et la charge du moteur.

Facteur de puissance = puissance réelle / puissance apparente





(le facteur de puissance varie en fonction de la charge du moteur.)

Les moteurs à induction sont la principale cause des mauvais facteurs de puissance. Les compagnies d'électricité appliquent souvent une pénalité aux facteurs de puissance qui chutent sous un certain niveau, habituellement 90 %. Quelques stratégies permettent de corriger les facteurs de puissance trop faibles :

- faire fonctionner le moins souvent possible les moteurs à charge réduite ou au ralenti;
- assurer une tension nominale adéquate et équilibrer les phases;
- installer des condensateurs pour diminuer les charges de puissance réactive.

Gains de rendement par rapport à la vitesse du moteur

Le rotor d'un moteur tourne un peu plus lentement que le champ magnétique rotatif dans le stator. La différence entre ces deux vitesses est appelée le glissement. Les moteurs de classification B sous la norme NEMA fonctionnent avec un glissement de 3 à 5 % à la charge nominale. Certains moteurs HEM fonctionnent avec moins de glissement, ce qui résulte en une vitesse légèrement plus élevée à pleine charge de 5 à 10 rpm. Pour des charges centrifuges, même un changement de vitesse mineur entraîne une variation notable du débit et de la consommation d'énergie. Lorsque vous remplacez un moteur standard, choisissez dans la mesure du possible un HEM de même vitesse ou de vitesse inférieure. Si nécessaire, adaptez les mécanismes pour profiter pleinement des économies d'énergie potentielles.

Dimensionnement du moteur

Le rendement des moteurs demeure assez constant jusqu'à environ 50 % de la charge nominale, mais, au-dessous, il baisse abruptement. Il faut s'assurer de laisser une marge de sécurité suffisante, mais non excessive. Le moteur doit être calibré pour la charge de pointe prévue. Les moteurs surdimensionnés peuvent augmenter passablement les coûts, puisque tous les composants électriques doivent être adaptés au régime nominal du moteur. Dans ce contexte, l'utilisation de moteurs à haut rendement apparaît encore plus sensée, puisqu'ils fonctionnent mieux sous une plus large gamme de charges que les moteurs standard.

5.4 POLITIQUE SUR LES MOTEURS

Instaurez une politique sur les moteurs afin d'assurer une productivité et un rendement stables.

La création d'une politique sur les moteurs a pour objectif d'aider le personnel d'usine à gérer les systèmes moteurs en réduisant au minimum les pertes de temps et les coûts de production. Une politique sur les moteurs comporte trois volets distincts : la planification, les lignes directrices sur le remplacement et les procédures de réparation. L'information suivante peut vous aider à mettre en place une politique adaptée à vos besoins. Les valeurs indiquées sont les normes courantes dans l'industrie.

Planification

Parfois, en essayant de remettre un moteur en bon état le plus vite possible, les responsables prennent des décisions qui permettent d'atteindre l'objectif à court terme mais qui, à long terme, ont une incidence négative sur le rendement et la durée de vie du moteur. La mise en œuvre d'une politique exhaustive sur les moteurs peut vous permettre d'éviter ce problème.

- Tous les moteurs fonctionnant durant un ou deux quarts de travail par jour seront répertoriés, identifiés par un numéro d'équipement unique et catalogués. Les données consignées comprendront l'information sur la plaque indicatrice, la vitesse de rotation et les heures de fonctionnement.
- Les moteurs supplémentaires seront répertoriés et identifiés par un numéro d'équipement unique. Les renseignements consignés comprendront les données de la plaque indicatrice et l'application (ou les applications) pour laquelle le moteur a été adapté.
- Un plan de remplacement de tous les moteurs sera préparé; on y trouvera leur provenance (inventaire, fournisseur et réparateur) et le type de moteur de remplacement (HEM, standard ou moteur réparé).
- Tous les moteurs à désinstaller seront partiellement démantelés, en retirant la plaque pour éviter la réutilisation, et ensuite mis au rancart d'une façon acceptable pour l'environnement.
- Les moteurs seront achetés ou réparés auprès d'un nombre limité de fournisseurs offrant des services à valeur ajoutée afin d'assurer le coût total le plus bas possible.
- Les moteurs fournis avec l'équipement neuf devront être conformes au Règlement sur l'efficacité énergétique. L'efficacité nominale à pleine charge devra être égale ou supérieure à celle indiquée dans le tableau de la section 5.2. Les moteurs doivent aussi être conçus pour la tension et la fréquence auxquelles ils fonctionneront.
- Pour les achats d'équipement neuf, on demandera des HEM.
- On commandera des moteurs répondant aux normes d'évaluation CSA-C390.

Lignes directrices sur la réparation et le remplacement

Quand un moteur est en panne ou brûlé, le personnel d'entretien dispose de trois options :

- procéder au rebobinage après en avoir évalué le coût et tenu compte de l'âge du moteur, de son état général, des nouveaux moteurs disponibles et de caractéristiques mécaniques ou électriques particulières;
- procéder au rebobinage ou acheter un nouveau moteur standard; et
- acheter un nouveau moteur à haut rendement.

Le tableau de remplacement des moteurs aidera les personnes concernées à décider s'il faut remplacer ou réparer un moteur défectueux.

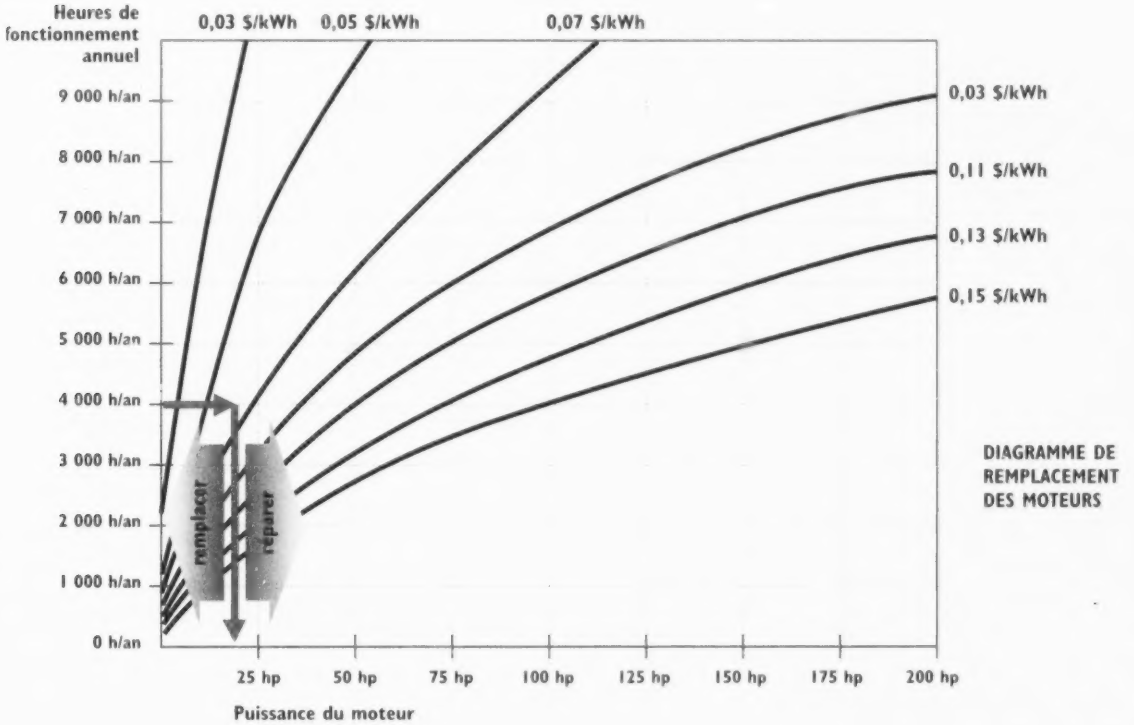


DIAGRAMME DE REMPLACEMENT DES MOTEURS

Selectionnez le nombre d'heures de fonctionnement du moteur et tracez une ligne horizontale jusqu'à l'intersection avec la courbe du coût électrique moyen. Tracez ensuite une ligne qui croisera la taille du moteur avec l'axe des χ. Tout moteur à gauche de ce point devra être remplacé par un HEM. Tout moteur à droite de ce point devra étre rebobiné.

Moteurs à réparer

- Aucun moteur muni d'un stator dont le noyau est défectueux ne sera rebobiné. Si le noyau ne peut être ramené à l'état de neuf, le moteur sera remplacé par un HEM.

Lignes directrices sur la réparation et le remplacement

Quand un moteur est en panne ou brûlé, le personnel d'entretien dispose de trois options :

- procéder au rebobinage après en avoir évalué le coût et tenu compte de l'âge du moteur, de son état général, des nouveaux moteurs disponibles et de caractéristiques mécaniques ou électriques particulières;
- procéder au rebobinage ou acheter un nouveau moteur standard; et
- acheter un nouveau moteur à haut rendement.

Le tableau de remplacement des moteurs aidera les personnes concernées à décider s'il faut remplacer ou réparer un moteur défectueux.

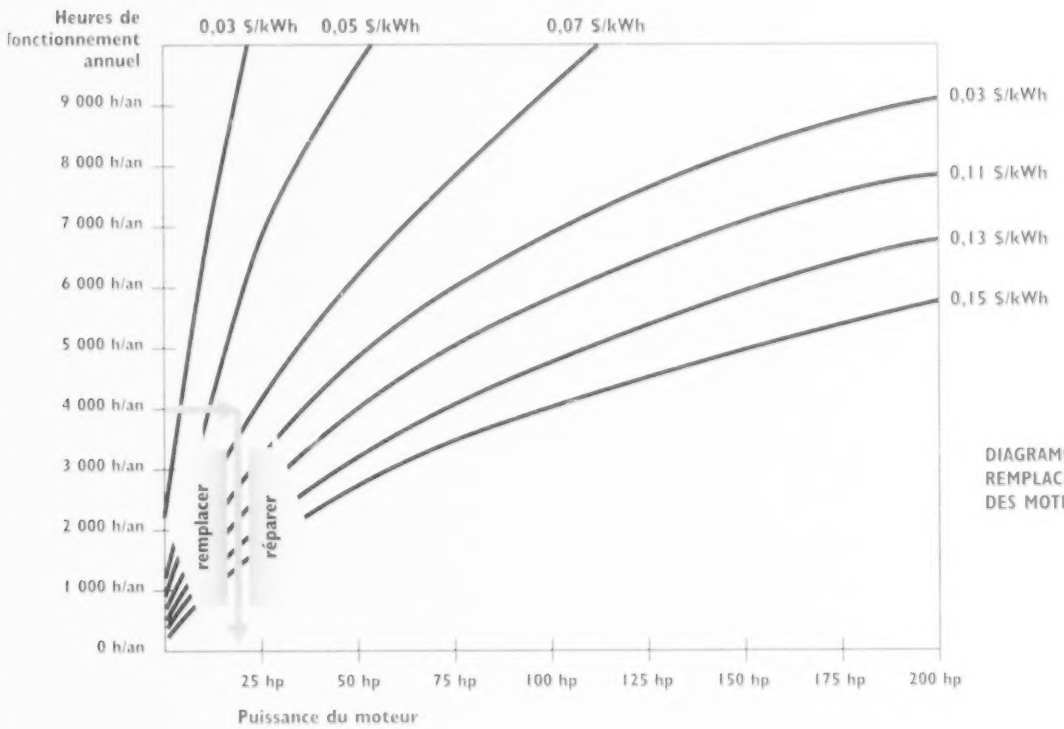


DIAGRAMME DE REMPLACEMENT DES MOTEURS

Selectionnez le nombre d'heures de fonctionnement du moteur et tracez une ligne horizontale jusqu'à l'intersection avec la courbe du coût électrique moyen. Tracez ensuite une ligne qui croisera la taille du moteur avec l'axe des x. Tout moteur à gauche de ce point devra être remplacé par un HEM. Tout moteur à droite de ce point devra être rebobiné.

Moteurs à réparer

- Aucun moteur muni d'un stator dont le noyau est défectueux ne sera rebobiné. Si le noyau ne peut être ramené à l'état de neuf, le moteur sera remplacé par un HEM.

- On procédera au rebobinage de tout moteur de 100 hp ou plus fonctionnant moins de 4 000 heures par an si les spécifications relatives au noyau ferromagnétique le permettent.
- Les moteurs de 50 hp ou plus seront rebobinés trois fois au maximum, après quoi ils seront remplacés.
- Tous les moteurs dont l'état de détérioration ne permet pas d'envisager une réparation ou un remplacement par un moteur semblable, comme l'illustre le tableau ci-dessus (20 hp dans l'exemple), seront remplacés par un moteur à haut rendement, et non rebobinés.
- Les moteurs à rendement standard ne seront pas rebobinés si le coût de leur réparation dépasse de 60 % le prix d'achat d'un moteur à haut rendement.

Procédures de réparation et spécifications

- Les ateliers de réparation doivent avoir reçu la certification EASA-Q ou ISO 9000.
- Les entreprises peuvent devoir verser des frais minimes à un fournisseur pour l'évaluation de l'état du moteur, son démantèlement et l'estimation d'une réparation quand les responsables auront décidé d'acheter un moteur auprès d'un autre fournisseur.
- Les réparations effectuées doivent redonner aux moteurs leurs caractéristiques originales : nombre de tours, conception des bobinages, disposition des enroulements, surface de croisement des fils, taille des roulements, et type et qualité des matériaux isolants.
- Les noyaux endommagés seront réparés ou remplacés.
- La démétallisation devra être faite dans un four doté d'un système de trempage dont la température n'excédera pas les 400 °C (750 °F).
- L'atelier de réparation fera de son mieux pour déterminer la cause de la panne et remettra un rapport technique.

L'incidence du rebobinage sur le rendement

La qualité du travail de rebobinage d'un moteur et des matériaux utilisés à cette fin varie considérablement. Les effets d'un mauvais rebobinage peuvent ne pas être immédiatement perceptibles; par contre, un moteur mal rebobiné risque de consommer plus d'énergie et de durer moins longtemps parce qu'il chauffe davantage. En sélectionnant un atelier de réparation, tenez compte de ses installations, de son expérience et de la qualité du travail réalisé, non seulement du prix.

5.5 ENTRETIEN

Un programme d'entretien efficace influe sur la fiabilité, le rendement et la productivité.

L'entretien a pour but d'éviter que l'équipement tombe en panne prématurément, d'assurer un rendement optimal et de diminuer le nombre d'arrêts inattendus. Les machines bien entretenues sont aussi moins énergivores, car elles causent moins de pertes par frottement et elles chauffent moins. Les sections suivantes couvrent les problèmes d'entretien de moteurs et présentent des recommandations sur l'entretien et les tests.

Nettoyage

La poussière nuit aux matériaux isolants d'un moteur en les rongeant ou en s'y incrustant. Elle peut contaminer les lubrifiants et endommager les roulements. L'accumulation de saleté sur le boîtier du moteur, sur le ventilateur et dans les ouïes d'entrée fait monter la température du moteur, ce qui en réduit le rendement et en abrège la vie utile.

Lubrification

Les roulements des gros moteurs doivent être graissés périodiquement. L'excès de graisse est un problème commun qui entraîne une augmentation du frottement menant à une panne. L'excès de graisse peut s'écouler sur les enroulements et provoquer une panne. Nettoyez les raccords avant d'injecter de la graisse; vous éviterez ainsi la contamination.

Vibration

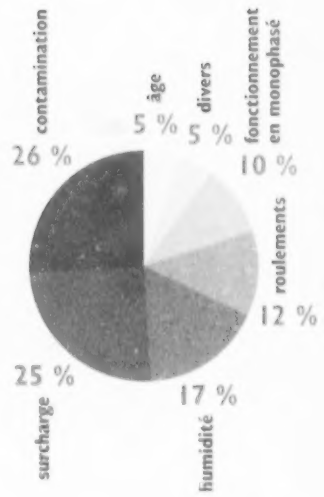
Une augmentation ou un changement notable de la vibration du moteur peut indiquer un problème de roulements, un déséquilibre de charge, un arbre défectueux, un mauvais alignement des raccords ou une irrégularité électrique. Une mauvaise tension et un alignement défectueux de la courroie peuvent accroître la consommation d'énergie et abréger la vie du moteur.

Test de tension

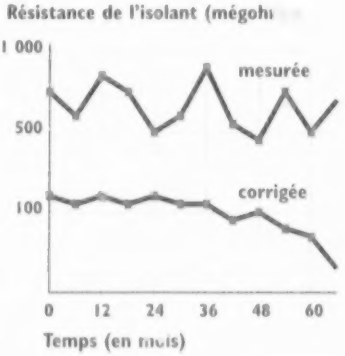
Les moteurs soumis à des fluctuations de tension de plus ou moins 10 % par rapport à la normale connaîtront une baisse de rendement et une vie utile plus courte. Une tension inégale peut causer des courants rotoriques extrêmement élevés qui provoquent des hausses de température et l'augmentation spectaculaire des pertes moteur. Mesurez et enregistrez les tensions aux bornes du moteur pendant que la machine est en charge. La comparaison de ces mesures avec les « normes » établies peut aider à cerner les problèmes.

Test des matériaux isolants

Les tests de routine de la résistance des moteurs essentiels sont des évaluations importantes permettant de détecter la dégradation des matériaux isolants. Les mesures devront être faites une ou deux fois par an. La tendance à long terme donne une idée claire de la qualité des bobinages. Vous pouvez voir ici les mesures réelles de la résistance de l'isolant (graphique ci-dessus), ramenées à une température commune (graphique ci-contre). Ces mesures constituent une base de comparaison exacte. Dans le cas présent, une baisse notable se dessine dès la 4e année. Ce moteur devrait être envoyé à l'atelier de réparation pour être nettoyé, immergé et « cuit », entretien qui revient à environ un tiers du coût d'un rebobinage complet et permet d'éviter cette mesure.



CAUSES DE DÉFAILLANCE D'UN MOTEUR



TEST D'ANALYSE DE LA RÉSISTANCE

6 TECHNIQUES DE GESTION DES SYSTÈMES MOTEURS

La sélection des bons composants permet de réduire la baisse de pression.

Ci-dessous sont décrites quelques techniques et méthodes générales de gestion de systèmes moteurs, qui peuvent aider votre usine à réaliser des économies d'énergie importantes tout en répondant aux impératifs en matière de procédé.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 1 : Modulation de vitesse

Un grand nombre de systèmes fonctionnent avec des charges variables et contrôlent le débit au moyen de dispositifs d'étranglement. Le débit peut également être contrôlé par recirculation, ventilation secondaire et utilisation de soupapes de décharge. Selon ces méthodes traditionnelles, la machine fonctionne à vitesse constante près de sa charge nominale et l'énergie, qui se dissipe par les dispositifs de contrôle, est gaspillée. La recirculation gaspille de l'énergie en maintenant la consommation d'énergie à un taux constant pendant que le système ne fournit aucun travail utile.

Le contrôle de la vitesse constitue une excellente façon d'économiser de l'énergie car, grâce à cette technique, on adapte la vitesse de la machine aux exigences réelles en matière de procédé. Dans bien des systèmes de ventilateurs, de pompes et de compresseurs, la demande de puissance varie avec le cube du débit, et le débit varie de façon directement proportionnelle à la vitesse. Ainsi, une réduction de vitesse de 20 % correspond approximativement à une économie d'énergie de 50 %.

La modulation de vitesse est obtenue de deux manières :

- en modifiant directement la vitesse du moteur;
- en utilisant un moteur à vitesse fixe avec un mécanisme d'entraînement à vitesse réglable.

Quelques systèmes nécessitent une large gamme de zones de fonctionnement; ainsi, il serait peut-être bon de choisir un mécanisme d'entraînement à vitesse réglable (EVR). Ce mécanisme présente un certain nombre d'avantages en plus des économies d'énergie qu'il permet de réaliser :

- un contrôle précis du procédé;
- la durée de vie prolongée de l'équipement;
- un démarrage en douceur; et
- le freinage par récupération.

Les moteurs à vitesses multiples servent normalement à des applications qui nécessitent un petit nombre de zones de fonctionnement distinctes. Moins onéreux que les EVR, ils sont disponibles en modèles à deux, à trois et à quatre vitesses.

Considérations sur cette technique

- Les moteurs à vitesses multiples sont particulièrement efficaces en charge de couple variable.

- Il faut éviter de les faire fonctionner à des fréquences de résonance et les empêcher d'atteindre les zones de fonctionnement instable.
- À vitesse réduite, il peut être nécessaire d'ajouter un dispositif de refroidissement extérieur ou un système de lubrification séparé.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 2 : Dimensionnement de l'équipement

Évaluer à nouveau les systèmes fonctionnant avec des dispositifs d'étranglement partiellement fermés. Réduire la consommation d'énergie en redimensionnant la machine en entier ou en remplaçant des pièces internes comme les rotors et en ouvrant ensuite les clapets et les soupapes.

Le redimensionnement du rotor réduit la demande de puissance de l'équipement, ce qui permet d'économiser de l'énergie. Une modification appropriée du rotor permet au système de répondre à toutes les exigences relatives au procédé sans avoir à fonctionner en mode d'étranglement.

Considérations sur cette technique

- Le redimensionnement permet le déclassement permanent du système.
- Dans les cas où une capacité additionnelle se révèle nécessaire, il n'est pas conseillé de redimensionner des pièces.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 3 : Survoltage

Les systèmes requérant un excès temporaire de capacité peuvent bénéficier d'un survoltage. Ce dernier peut consister en un ventilateur, une pompe ou un compresseur qui approvisionne les systèmes servant aux procédés ayant des périodes de pointe imprévisibles ou opérant dans des conditions difficiles. Tout d'abord, l'équipement est dimensionné de manière à fonctionner le plus efficacement possible en situation normale, et le survolteur se met en marche en période de pointe. Les systèmes subissent fréquemment des charges de pointe au démarrage; ensuite, une fois que le procédé atteint son seuil d'équilibre, la charge baisse.

Considérations sur cette technique

- L'espace disponible pour un survolteur et son coût peuvent avoir une incidence sur la décision d'achat.
- Le survolteur devra fonctionner de façon intermittente seulement.
- Comme ce système de contrôle fonctionne par étages, il n'est pas aussi précis et efficace que la technique de modulation de vitesse.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 4 : Modernisation de l'équipement

La modernisation des turbomachines peut permettre à une usine de réaliser des économies dans les cas suivants :

- il existe peut-être, sur le marché, de l'équipement plus moderne et plus efficace permettant de remplacer des machines dépassées;
- les exigences en matière de procédés et de systèmes peuvent avoir changé radicalement depuis que l'équipement a reçu ses spécifications originales. Les turbomachines doivent être réévaluées en fonction des nouvelles zones de fonctionnement.

- il serait peut-être bon de changer le moteur du système pour un moteur à haut rendement.

Considérations sur cette technique

- Certains moteurs à haut rendement ne peuvent fonctionner dans des conditions difficiles.
- Songez à remplacer les moteurs dont la charge est inférieure à 50 % ou ceux qui ont été rebobinés plusieurs fois.
- N'oubliez pas que les moteurs à haut rendement atteignent des vitesses probablement plus élevées.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 5 : Facteurs affectant le système

Les facteurs affectant le système sont les conditions qui peuvent en diminuer le rendement en raison de la configuration du système. Ces conditions altèrent les caractéristiques de rendement de la machine qui ne réussit plus à atteindre sa zone de fonctionnement maximal.

L'énergie consommée sert à vaincre la résistance au débit créée par les filtres, les clapets, les silencieux, les enroulements, et autres. En réduisant la résistance de tout composant provoquant une perte de pression, on pourra obtenir le même débit en consommant moins d'énergie. Parmi les autres facteurs d'effet communs, mentionnons les mauvais joints aux ouïes d'entrée et les raccords de refoulement mal conçus. Assurez-vous que les composants sont propres et fonctionnent bien.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 6 : Moteurs alternatifs

Dans quelques systèmes moteurs de grande taille, l'utilisation de moteurs alternatifs ou de turbines à gaz couplées directement à la charge peut présenter un important avantage. Cette application peut se révéler utile quand l'alimentation électrique pose un problème. La chaleur dégagée par les moteurs peut être employée dans le procédé et la source de combustible est peu coûteuse. Ces moteurs peuvent également fonctionner à vitesse variable et à surcapacité durant les charges de pointe de courte durée. Disponibles dans une large gamme de tailles, ces moteurs comportent parfois des dispositifs à haut rendement et des options de réduction des émissions.

Considérations sur cette technique

- Ces machines auto-alimentées permettent d'éviter la modernisation du système électrique.
- Elles peuvent fournir de l'énergie en cas d'urgence lorsqu'on les couple à une génératrice.
- L'analyse de leur cycle de vie doit tenir compte du coût du combustible, du coût des immobilisations, de l'entretien et de la quantité de chaleur dégagée.

- Les moteurs à fonctionnement constant ont des composants plus robustes grâce auxquels ils durent plus longtemps que les unités de secours.
- Des sectionneurs doivent être installés quand ces moteurs sont couplés à une génératrice de secours.

TECHNIQUE GÉNÉRALE N° 7 : Entretien et conception

- Lubrifiants – les lubrifiants synthétiques peuvent être utilisés pour réduire les pertes de friction dans les boîtes à engrenages.
- Recouvrements – on peut diminuer les pertes par frottement à l'aide de divers recouvrements internes, lesquels peuvent aussi réparer les dommages causés par la corrosion par cavitation et par piqûres.
- Jeu fonctionnel – en maintenant le jeu requis entre les pièces d'équipement, on peut réduire les fuites et les pertes dans plusieurs systèmes.
- Réducteurs à engrenages – transforment une sortie à haute vitesse et à bas couple du moteur en une sortie à basse vitesse et à couple élevé nécessaire pour l'équipement entraîné.
- Engrenages à dentures inclinées – modiques et faciles à entretenir. Le rendement varie avec le débit moyen et peut être aussi élevé que 94 % pour un rapport de 5:1 et aussi bas que 75 % pour un rapport de 40:1.
- Engrenages cycloïdaux – ont un rendement supérieur à celui des engrenages à dentures inclinées, mais un peu inférieur à celui des engrenages hélicoïdaux. Chaque étage peut offrir des rapports aussi élevés que 87:1.
- Engrenages hélicoïdaux – par rapport à l'arbre, les faces des dents d'engrenage sont légèrement inclinées de façon à former une hélice. Le rendement dépend du nombre d'étages nécessaires pour atteindre la vitesse désirée, du type de roulements utilisés, de la lubrification et de la qualité de l'engrènement de la roue dentée. Un engrenage hélicoïdal bien conçu peut fournir un rendement allant jusqu'à 98 %.

7 SYSTÈMES DE VENTILATEURS

Sélectionnez des composants efficaces et utilisez moins de dispositifs de contrôle à clapets.

Les ventilateurs sont des appareils capables de propulser de l'air à travers un réseau de conduites. Deux moyens permettent d'optimiser le rendement d'un système de ventilateurs :

- choisir des ventilateurs capables de fournir le meilleur rendement pour une application donnée; et
- examiner périodiquement les ventilateurs pour veiller à ce qu'ils n'entraînent que des pertes minimales en période de pointe.

7.1 TABLEAU DE SÉLECTION ET D'UTILISATION DES VENTILATEURS

	RADIAUX	COURBÉS VERS L'AVANT	COURBÉS VERS L'ARRIÈRE	AXIAUX
Application	• conviennent là où il y a de l'érosion • utilisés pour un convoyeur pneumatique • les pales plates résistent à l'érosion causée par le matériau transporté • non adaptés aux systèmes CVC ou aux appareils à combustion	• utilisés dans les systèmes nécessitant une vitesse de soufflage élevée • employés dans les systèmes nécessitant de petits ventilateurs et avec les systèmes CVC • des dépôts s'accumulent sur les pales si on utilise le ventilateur dans un endroit où l'air est vicié	• utilisés dans les grandes installations où les contaminants s'incrustent sur les pales ou les érodent • employés dans les systèmes combinés à basse et haute pression statique, c.-à-d. les systèmes CVC • des modèles sur mesure peuvent être employés dans les milieux où il y a de l'érosion	• utilisés dans un très grand nombre d'installations, même là où il y a un peu de poussière dans l'air • utilisés dans les systèmes CVC, les dés humidificateurs, les appareils à combustion et les séchoirs industriels
Principe de fonctionnement	• habituellement, le moyeu comporte de 6 à 10 pales radiales • les pales sont droites ou légèrement courbées • elles peuvent être munies de plaques d'usure amovibles • à part les ventilateurs courbés vers l'avant, c'est le plus petit ventilateur produisant une certaine performance nominale	• la vitesse du courant d'air produit par les 24 à 64 pales convexes dépasse la vitesse périphérique, et l'air ambiant reçoit surtout de l'énergie cinétique • l'enveloppe est en forme de volute • le jeu entre le pavillon d'aspiration et la roue n'est pas essentiel	• d'habitude, le moyeu comporte de 9 à 16 pales d'épaisseur uniforme, qui sont inclinées en sens contraire par rapport au sens de rotation • la puissance d'entrée chute quand le débit augmente, ce qui rend les surcharges presque impossibles • un jeu serré entre la roue et le pavillon d'aspiration doit être maintenu	• l'air quitte le rotor à une vitesse inférieure à la vitesse périphérique • les pales relativement épaisses sont plus robustes • pour atteindre un rendement à haute pression statique, un jeu serré doit être maintenu entre la roue et le pavillion d'aspiration

	RADIAUX	COURBÉS VERS L'AVANT	COURBÉS VERS L'ARRIÈRE	AXIAUX
Rendement statique	50 % - 60 %	60 % - 70 %	75 % - 80 %	80 % - 85 %
Débit maximum	7 080 - 14 160 m^3/mn* (250 000-500 000 pi^3/mn)	~566 m^3/mn (~20 000 pi^3/mn)	14 160 - 21 240 m^3/mn (500 000-750 000 pi^3/mn)	14 160 - 25 488 m^3/mn (500 000-900 000 pi^3/mn)
Pression maximale	12 - 5 kPa (1,8 - 0,7 lb/po^2)	~0,75 kPa (~0,1 lb/po^2)	8 - 2 kPa (1,1 - 0,3 lb/po^2)	8 - 4 kPa (1,1 - 0,5 lb/po^2)
Puissance maximale	500 - 1 000 hp	15 - 30 hp	1 000 - 2 000 hp	1 000 - 3 000 hp
Avantages	• auto-nettoyage • peut être conçu avec une grande résistance structurale pour atteindre de hautes vitesses et de hautes pressions	• silencieux • fonctionne à vitesse modérée • ventilateur plus petit pour le même travail		• le moteur peut être dimensionné pour couvrir toutes les zones de fonctionnement • en choisissant le bon ventilateur, on peut obtenir un rendement maximal

* mètre cube/minute

7.2 POSSIBILITÉS RELATIVES AUX SYSTÈMES DE VENTILATEURS

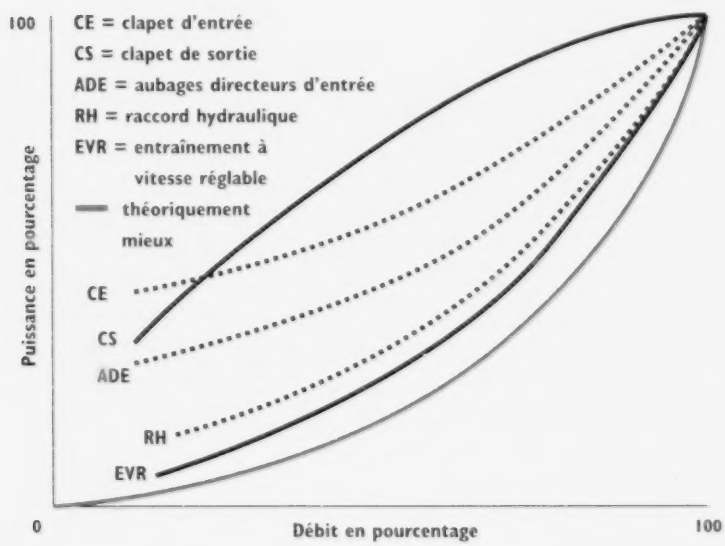
VENTILATEURS	SYSTÈMES DE VENTILATEURS INEFFICACES
Mauvaise application	• Les ventilateurs choisis en fonction de leur bas prix d'achat peuvent être améliorés ou remplacés par des modèles plus efficaces. • Les améliorations au chapitre de la métallurgie et de la conception des ventilateurs ont permis de créer des modèles plus efficaces pouvant servir à une plus grande variété d'applications.
Méthodes de contrôle	• Les clapets de sortie sont des dispositifs de contrôle de débit inefficaces. • Les registres à papillon placés près de l'entrée du ventilateur créent de la turbulence et diminuent la performance.
Aubes de guidage	• Les aubes variables de guidage d'entrée utilisées pour contrôler le débit sont généralement plus efficaces lorsque le débit se maintient entre 85 et 100 % de son niveau maximal, mais elles ne conviennent pas à des environnements difficiles.

VENTILATEURS	ENTRETIEN
Haute résistance	• Le ventilateur doit « lutter » contre la résistance créée par l'accumulation de résidus dans les aubes de guidage d'entrée et sur la roue à aubes. • Les causes de haute résistance comprennent les écrans, les filtres et les enroulements sales.
Fuites de débit	• Le fluide perdu à cause de fuites représente une perte d'énergie. • La détérioration des joints statiques des systèmes de ventilateurs est susceptible de desserrer les flexibles et de tordre les brides; il pourrait donc y avoir des fuites à ces endroits. • La corrosion ou l'érosion des conduites peut aussi causer des fuites.

VENTILATEURS	FACTEURS AFFECTANT LE SYSTÈME
Conception des entrées et des sorties	• Le débit d'air le plus efficace est un débit uniforme et non contrôlé. • Les coudes localisés directement sur les entrées du ventilateur augmentent les pertes et doivent être évités. • Les obstructions à l'entrée et à la sortie causent des turbulences. • Les flexibles nuisent souvent au passage de l'air et entravent le débit.
Orientation du ventilateur	• Les ventilateurs doivent être orientés de façon à assurer un écoulement uniforme de l'air, car on maintiendra la turbulence au minimum en propulsant l'air dans le sens de rotation de la turbomachine.
Déflecteurs	• Il faut installer des déflecteurs pour corriger les problèmes à l'entrée et à la sortie, comme la présence d'un coude trop près d'une entrée.
Coudes	• Les coudes ronds offrent moins de résistance que les coudes carrés.

7.3 MÉCANISMES DE CONTRÔLE

Voici une comparaison de la puissance requise pour obtenir un débit donné avec divers mécanismes de contrôle. La différence entre les valeurs de puissance des mécanismes indique le potentiel d'économie d'énergie. Le contrôle par EVR offre des économies supérieures avec tous les débits. Avec un débit de 85 à 100 %, un certain nombre de dispositifs de contrôle peuvent être évalués sur le plan du rendement et des économies.



7.4 LISTE DE VÉRIFICATION DES DONNÉES SUR LES SYSTÈMES DE VENTILATEURS

En vous fondant sur les caractéristiques de fonctionnement et de rendement, déterminez les possibilités d'améliorer l'efficacité de votre ventilateur.

Renseignements sur le système – Où et quand le ventilateur est-il utilisé?

Service/système : .....

Description du système : ..... Fonctionnement annuel (heures) : .....

Fabricant du ventilateur : ..... Âge (ans) : .....

❍ Résistance fixe ❍ Résistance fixe/pression constante

❍ Résistance variable/pression constante ❍ Résistance variable/débit constant

Vérification rapide aux fins d'optimisation – Un grand nombre de « oui » indique de meilleures possibilités d'amélioration.

❍ Oui ❍ Non La puissance du ventilateur dépasse-t-elle 75 hp?

❍ Oui ❍ Non Le ventilateur fonctionne-t-il plus de 4 000 heures par an?

❍ Oui ❍ Non Y a-t-il des clapets à la sortie? Le ventilateur recircule-t-il plus de 20 % du débit?

❍ Charges à couple variable avec grand potentiel d'économie d'énergie (voir Section 9)

❍ Charges à couple constant avec un potentiel d'économie moyen

❍ Charges à puissance constante sans potentiel d'économie d'énergie

Contrôles — Inspectez les contrôles du système de ventilation et les mécanismes indicateurs.

❍ Clapet d'entrée : .....% normalement ouvert ❍ Auto ❍ Manuel ❍ Fixe

❍ Clapet de sortie : .....% normalement ouvert ❍ Auto ❍ Manuel ❍ Fixe

❍ Aubes d'entrée : .....% normalement ouvert ❍ Auto ❍ Manuel ❍ Fixe

❍ EVR ❍ Courants de Foucault ❍ Rotor bobiné .....% vitesse ❍ Raccord hydraulique

❍ Entraînement à courroies ❍ Réducteur à engrenages .....% ratio ❍ Entraînement direct

Information sur le ventilateur

Puissance nominale : ..... hp Vitesse nominale : ..... rpm

Débit réel : ..... pi^3/mn Pression réelle : ..... kPa (si disponible)

Débit nominal max. : ..... pi^3/mn Pression nominale max. : ..... kPa

Type de ventilateur : ❍ Radial ❍ Courbé vers l'avant ❍ Courbé vers l'arrière ❍ Axial

Moteur

Fabricant du moteur : ..... Modèle .....

..... hp ..... rpm ..... NEMA ..... Rendement ..... Ampérage à pleine charge

Cycle de fonctionnement en charge – Coût de l'énergie consommée ..... $/kWh

Coût moyen = heures (h) × puissance (kW) × coût ($/kWh)

Courant triphasé (kilowatts) = 1,73 × amp × volts × facteur de puissance ÷ 1 000 (Section 5.3)

% DÉBIT	HEURES	MOTEUR AMP	MOTEUR TENS	RÉGULATION CLAPET	VENTILATEUR RPM	PUISSANCE kW	COÛT MOYEN

Les informations colligées dans la présente liste visent à vous donner un portrait global de votre équipement et de ses spécifications. Ces informations peuvent être comparées à celles données par le fabricant afin d'identifier les équipements qui ont le meilleur potentiel d'économie d'énergie, de vous permettre de réviser vos procédures d'entretien et les politiques d'achat, et ainsi d'optimiser le rendement de vos équipements.

8 SYSTÈMES DE POMPES

L'élimination des dispositifs d'étranglement et de recirculation dans les systèmes de pompes permet d'économiser de l'énergie.

Les pompes fournissent la force motrice pour déplacer un liquide à travers un système de conduites et surmonter les dénivelées et la résistance offerte par les conduites ou le procédé. Il en existe deux grandes catégories : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques. Les pompes centrifuges sont largement utilisées en raison de leur fonctionnement relativement simple et de leur prix abordable. Elles constituent la possibilité d'amélioration de rendement la plus importante. Le rendement des pompes est fonction des rendements volumétrique, mécanique et hydraulique. Elles ne peuvent atteindre leur efficacité maximale qu'à une pression et à un débit donnés. Installer une pompe dans un système où elle sera forcée de se maintenir dans une zone de fonctionnement inappropriée réduira son efficacité.

Il est important de choisir une pompe de bonne qualité. La plupart des méthodes de fabrication utilisées par les fabricants pour réduire le prix diminuent aussi le rendement. L'élimination des aubes de diffuseurs, l'emploi de roues à aubes plus petites, le choix de roues à aubes radiales ouvertes, ainsi que le recours à des techniques de fabrication qui créent des jeux fonctionnels trop lâches et des finis rugueux font baisser le rendement en même temps que les prix. Le fonctionnement des systèmes de pompes, plus que sa conception, peut influer sur leur rendement. En faisant fonctionner une pompe au ralenti, à faible capacité ou en haute chute, on réduit son rendement de façon notable.

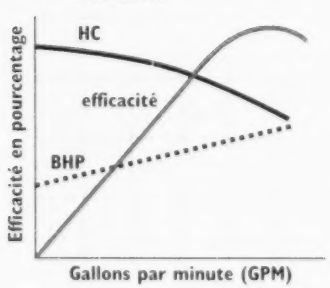
Trois facteurs clés influent sur le rendement d'un système de pompes :

- les pertes de charge par frottement et inertie causées par le débit fluide dans les conduites et les raccords;
- les dénivelées entre la source et le point d'arrivée; et
- la pression en surface à la source et à l'arrivée.

L'efficacité énergétique des systèmes de pompes dépend de certains facteurs :

- la configuration des pompes;
- la méthode de contrôle;
- les conditions d'entrée et de sortie;
- l'adaptation des pompes aux exigences du système;
- le rendement des pompes; et
- la séquence de fonctionnement dans les systèmes à pompes multiples.

HC = hauteur totale de la colonne
BHP = Puissance au frein
— = efficacité



La courbe des pompes

La courbe des débits jaugés aux pompes centrifuges définit la relation entre la hauteur d'une masse de fluide, le débit à une vitesse donnée et le diamètre de la roue à aubes. On détermine la courbe caractéristique et la puissance au frein (BHP) en mettant à l'essai la pompe; le rendement est calculé en fonction de diverses capacités. Tant que le débit (en gallons par minute) augmente, la courbe caractéristique s'abaisse et le BHP augmente.

8.1 POSSIBILITÉS RELATIVES AUX POMPES

POMPES	SYSTÈMES DE POMPES INEFFICACES
Cavitation	• Quand la pression dans la conduite d'aspiration chute au-dessous du niveau de pression de vapeur liquide, la vapeur se forme. Les « bulles » de vapeur implosent en arrivant dans une zone à plus haute pression et produisent alors du bruit, de l'érosion et des vibrations. • La cavitation corrode la roue à aubes et son boîtier, ce qui diminue la capacité et le rendement du système.
Conception de la roue à aubes	• Des roues à aubes plus larges pompent un volume plus grand de fluide et fournissent une pression de refoulement plus uniforme à des débits variés. • Ouvrir l'angle des aubes de la roue fait monter la courbe caractéristique. • Plus une roue aura d'aubes, plus constante sera la courbe caractéristique. • La capacité de la pompe peut être accrue ou diminuée en changeant la dimension de l'œil de la roue à aubes radiales. • En règle générale, les roues à aubes fermées sont plus efficaces. Cependant, elles sont plus chères et conviennent mieux à un environnement propre.

POMPES	ENTRETIEN
Tolérances	• Le rendement des pompes est affecté par les fuites aux environs de la roue. • Les hautes pressions à la sortie de la roue à aubes peuvent faire refouler le fluide vers une zone de plus basse pression. • L'érosion causée par des particules abrasives peut affecter les jeux fonctionnels. • Des jeux fonctionnels serrés doivent être maintenus. Dans quelques modèles de pompes, on trouve des collerettes d'étanchéité entre les surfaces stationnaires et les surfaces mobiles. • La recirculation de fluide doit être maintenue au minimum pour que la pompe fonctionne efficacement.
Bagues d'étanchéité	• On doit vérifier régulièrement le bon ajustement des bagues d'étanchéité. • L'étanchéité des bagues peut être vérifiée en surveillant la quantité de fuites. Les bagues doivent normalement couler un peu pour des raisons de lubrification et de refroidissement. • Le serrage excessif peut user le boîtier de l'arbre prématurément, provoquant des dommages mécaniques et des pertes d'énergie.
Recouvrement	• Des recouvrements spéciaux peuvent être appliqués pour remplir les petits trous et adoucir les surfaces internes afin de réduire les pertes par frottement.

POMPES	FACTEURS AFFECTANT LE SYSTÈME
Conception	• L'entrée d'aspiration doit être conçue de manière à régulariser le débit du fluide. • Il est recommandé de placer un segment droit de conduite d'aspiration dont la longueur équivaudrait à au moins huit fois le diamètre immédiatement avant la bride reliée à la pompe.
Coudes	• Des poches d'air peuvent se former quand il y a des coudes dans la conduite d'aspiration.

8.2 LISTE DE VÉRIFICATION DES DONNÉES SUR LES SYSTÈMES DE POMPES

En vous fondant sur les caractéristiques de fonctionnement et de rendement des pompes, déterminez les possibilités d'en améliorer l'efficacité.

Renseignements sur le système — Où la pompe est-elle utilisée et à quoi sert-elle?

Service/système : .....

Description du système : ..... Fonctionnement annuel (heures) : .....

Fabricant de la pompe : ..... Âge (ans) : .....

❍ Débit constant ❍ Pression constante ❍ Pression variable ❍ Débit variable

Vérification rapide aux fins d'optimisation — Un grand nombre de « oui » indique de meilleures possibilités d'amélioration.

❍ Oui ❍ Non La puissance de la pompe dépasse-t-elle 75 hp?

❍ Oui ❍ Non La pompe fonctionne-t-elle plus de 4 000 heures par an?

❍ Oui ❍ Non Y a-t-il des soupapes? La pompe recircule-t-elle plus de 20 % du fluide?

❍ Charges à couple variable avec grand potentiel d'économie d'énergie (voir Section 9)

❍ Charges à couple constant avec potentiel d'économie moyen

❍ Charges à puissance constante sans potentiel d'économie d'énergie

Contrôle – Inspectez les dispositifs de contrôle du système de pompes et les mécanismes indicateurs.

❍ Soupape de sortie : .....% normalement ouvert ❍ Automatique ❍ Manuel ❍ Fixe

❍ Recirculation ou retour au réservoir .....% débit

❍ EVR ❍ Courants de Foucault ❍ Rotor bobiné .....% vitesse ❍ Raccord hydraulique

❍ Entraînement à courroies ❍ Réducteur à engrenage .....% ratio ❍ Entraînement direct

Informations sur la pompe

Puissance nominale : .....hp Vitesse nominale : .....rpm

Débit réel : ..... Pression réelle : .....(si disponible)

Débit nominal max. : ..... Pression nominale max. .....

Type de roue à aubes : .....

Moteur

Fabricant du moteur : ..... Modèle : .....

.....hp ..... rpm .....NEMA .....Rendement .....Ampérage à pleine charge

Cycle de fonctionnement en charge – Coût de l'énergie consommée .....**$/kWh**

Coût moyen = heures (h) × puissance (kW) × coût ($/kWh)

Courant triphasé (kilowatts) = 1,73 × amp × volts × facteur de puissance ÷ 1 000 (Section 5.3)

% DÉBIT	HEURES	MOTEUR AMP	MOTEUR TENS.	RÉGULATION SORTIE	POMPE RPM	PUISSANCE kW	COÛT MOYEN

Les informations colligées dans la présente liste visent à vous donner un portrait global de votre équipement et de ses spécifications. Ces informations peuvent être comparées à celles données par le fabricant afin d'identifier les équipements qui ont le meilleur potentiel d'économie d'énergie, de vous permettre de réviser vos procédures d'entretien et les politiques d'achat, et ainsi d'optimiser le rendement de vos équipements.

9 MÉCANISMES D'ENTRAÎNEMENT À VITESSE RÉGLABLE

Cette méthode polyvalente permet un contrôle précis sur une large gamme de vitesses.

De nombreux systèmes utilisent des moteurs à vitesse constante et contrôlent mécaniquement le procédé à l'aide de soupapes, de clapets, de coupleurs hydrauliques ou d'aubages d'entrée orientables. En général, ces dispositifs ne contrôlent pas le débit d'une façon efficace puisque l'énergie se dissipe par le dispositif d'étranglement.

Les mécanismes d'entraînement électroniques à vitesse réglable (EVR) s'avèrent un moyen efficace d'adapter le rendement du système aux exigences du procédé, tout en réalisant des économies d'énergie substantielles. Les entraînements à fréquence variable AC sont utilisés avec des moteurs à induction à cage d'écureuil.

AVANTAGES

- contrôle précis et large gamme de vitesses
- entretien réduit comparé aux circuits CC (brosses et commutateurs)
- économies d'énergie
- démarrage en douceur et arrêt avec accélération et décélération contrôlées
- niveaux sonores réduits

INCONVÉNIENTS

- dispositif plus coûteux
- nécessite plus d'entretien
- machine complexe

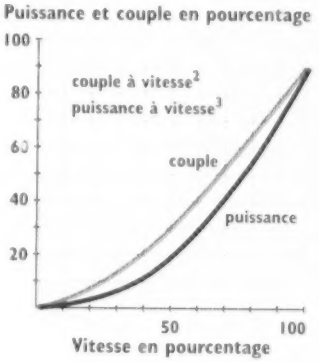
Les applications de ces entraînements sont classifiées en fonction des variations de puissance et de couple par rapport à la vitesse du moteur. Il est important de comprendre le type de charge qui convient à une application particulière, parce que toutes les charges, une fois combinées à l'utilisation d'EVR, n'offrent pas les mêmes possibilités d'économie d'énergie. Dans quelques cas, si un EVR est utilisé avec certaines charges, il y aura très peu ou pas du tout d'économies d'énergie.

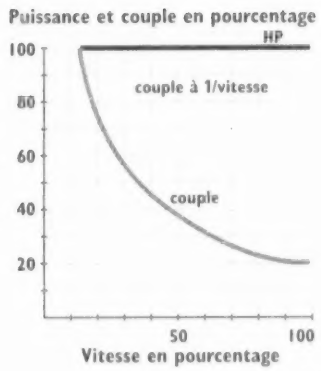
Charges à couple variable

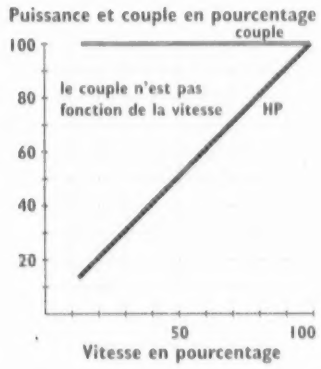
Dans des applications de charges à couple variable, le couple et la puissance changent avec la vitesse. Le couple varie avec le carré de la vitesse, et la puissance, avec le cube de la vitesse. Ceci signifie qu'à mi-vitesse, la puissance requise est d'environ un huitième du maximum nominal. Parmi les appareils dont la charge est à couple variable, mentionnons les ventilateurs centrifuges et les pompes à pression d'échappement variable.

L'utilisation d'un EVR pour une charge à couple variable permet souvent de réaliser d'importantes économies d'énergie. Dans ces applications, l'entraînement peut servir à assurer le bon déroulement des procédés tout en réduisant la consommation d'énergie. De plus, l'entraînement permet aussi d'exercer un meilleur contrôle sur le procédé, ce qui rehausse la qualité du produit et diminue les pertes.

On peut économiser beaucoup d'énergie en maintenant le système dans la gamme des vitesses efficaces, allant de 50 à 100 % du maximum.







Charges à puissance constante

Dans les applications à puissance constante, la demande de puissance reste constante à toutes les vitesses, et le couple varie inversement avec la vitesse. Un exemple de machine ayant ce type de charge serait le tour. À faible vitesse, l'opérateur fait des coupes profondes à l'aide d'un couple élevé et, à haute vitesse, il fait des retouches demandant beaucoup moins de couple. D'autres exemples seraient les fraiseuses et les perceuses.

Habituellement, ces applications ne permettent aucune économie d'énergie à basse vitesse.

Charges à couple constant

Pour des charges à couple constant, la puissance est directement proportionnelle à la vitesse de fonctionnement. Comme le couple n'est pas fonction de la vitesse, il restera constant tandis que la puissance et la vitesse varieront proportionnellement. Parmi les exemples courants d'applications à couple constant, mentionnons les convoyeurs, les extrudeurs, les mélangeurs et les pompes volumétriques. Pour les charges à couple constant, la gamme de vitesses est en général de 10:1.

D'habitude, ces applications engendrent des économies d'énergie modérées à faible vitesse.

9.1 CONSIDÉRATIONS SUR LES APPLICATIONS

La plupart des mécanismes d'EVR permettent de mieux contrôler le procédé, d'économiser de l'énergie et de réduire les activités d'entretien. Le choix d'un mécanisme approprié dépend de bon nombre de considérations particulières à chaque type d'application. La liste suivante indique un certain nombre d'aspects devant être examinés.

Mécanismes de contrôle

Le rapport débit-puissance de chaque type de turbomachine variera quelque peu en fonction des divers dispositifs de contrôle. Les économies d'énergie réalisables dépendent du degré de ralentissement du débit. Par exemple, pour un ventilateur nécessitant une diminution du débit de 100 % à 85 %, les économies d'énergie sont pratiquement identiques, que l'on utilise un contrôle par EVR ou des aubages d'entrée orientables, qui peuvent être bien moins chères. À moins de 85 %, l'efficacité du contrôle par EVR s'accroît par rapport à celle des autres méthodes.

Systèmes à courbe caractéristique constante

Les systèmes nécessitant une grande variation de débit ne bénéficient pas tous de l'ajout d'un EVR. Un grand nombre de systèmes ont besoin d'une pression constante sur une large gamme de débits, ou ont des exigences minimales en ce qui concerne la hauteur de la colonne de fluide. Même si le débit peut être ralenti considérablement, il peut être nécessaire de maintenir la turbomachine près de la vitesse maximale pour satisfaire aux exigences du système en matière de pression.

Adaptabilité du système

Une bonne connaissance de toutes les zones de fonctionnement de la turbomachine est cruciale pour déterminer celles qui peuvent s'adapter correctement aux vitesses sélectionnées. Faire fonctionner un système à des vitesses instables peut endommager la turbomachine, le reste du système ou le tout.

Crête

Les crêtes (augmentations ou diminutions transitoires de débit ou de pression) se caractérisent par des pulsations qui peuvent devenir assez violentes et destructrices. Pour cette raison, la région de crêtes de la courbe de rendement doit être évitée. Certaines zones de fonctionnement des systèmes qui atteignent une hauteur statique constante peuvent se trouver dans la région de crêtes quand les systèmes fonctionnent à vitesse contrôlée.

Épuisement de la pompe

L'installation d'un mécanisme d'EVR dans un système de pompes implique fréquemment l'élimination des robinets d'étranglement. Quand on retire le robinet et que la pompe ralentit, il peut y avoir très peu de résistance dans le système. Cet état, appelé épuisement de la pompe, se caractérise par des vibrations élevées, des dommages à la roue à aubes et aux joints, et de fortes pulsations dans les conduites.

Fréquences naturelles de l'arbre

La plupart des turbomachines sont conçues pour fonctionner à une vitesse inférieure à la première fréquence naturelle de l'arbre. Dans certains cas, des turbomachines à haute vitesse sont conçues pour fonctionner entre la première et la deuxième fréquence naturelle. En réduisant la vitesse d'une machine de ce type, celle-ci pourrait s'engager dans la première vitesse critique, ce qui provoquerait de fortes vibrations et possiblement une panne.

Problèmes de roulements

Les gros ventilateurs sont fréquemment construits avec des arbres qui comprennent différents types de roulements. Ces ventilateurs peuvent avoir des couples très élevés au démarrage, particulièrement quand ils ont longtemps été à l'arrêt. Au moment de choisir le mécanisme d'entraînement et le moteur, il faudra tenir compte de ce fait afin d'assurer le respect des exigences en matière de couple.

9.2 LISTE DE VÉRIFICATION DES DONNÉES SUR LES MÉCANISMES D'ENTRAÎNEMENT À VITESSE RÉGLABLE

Cette liste indique l'information nécessaire pour évaluer si un système moteur donné peut s'adapter à un mécanisme d'entraînement à vitesse réglable.

❍ Pompe ❍ Ventilateur ❍ Compresseur ❍ Autres : .....

Fabricant : ..... Modèle : ..... Puissance nominale (hp) : .....

Température min : ..... max : ..... Vitesse (rpm) : ..... Contrôle fermé : .....

Couple : ❍ fixe ❍ variable ❍ puissance fixe Pression nominale : ..... Débit nominal : .....

À contrôle variable : ..... Exigences en matière de vitesse/couple : .....

Procédé demandant un contrôle précis : ❍ oui ❍ non Fiabilité requise : ❍ basse ❍ moyenne ❍ haute

Schéma disponible : ❍ oui ❍ non Fonctionnement total (h) : ..... Tolérance au débit : .....

Tolérance à la pression : ..... Densité : ..... Rapport de réglage : .....

Zones de fonctionnement (Consulter les spécifications du fabricant pour obtenir les données sur la puissance et la vitesse)

% CHARGE TOTALE	HEURES	VITESSE DE LA MACHINE EN RPM	TENSION (EN VOLTS)	AMPÉRAGE (EN AMP)	PUISSANCE (EN kW)	COÛT MOYEN

Données sur le moteur Fournisseur : .....

Fabricant : ..... Numéro de série : ..... Modèle : .....

Capacité (hp) : ..... Type NEMA : ..... Fréquence (Hz) : .....

Condensateurs fermés : ❍ oui ❍ non ❍ propre ❍ acide ❍ poussiéreux

Temp. ambiante : ..... Type d'enceinte : ..... Vitesse (rpm) : ..... Tension (V) : .....

Ampérage à pleine charge : ..... Rendement (%) : ..... Heures de fonctionnement : .....

Surveillance et contrôle Fournisseur : .....

Dérivation électrique : ❍ oui ❍ non

Niveau maximal de défaillance : ❍ oui ❍ non Redémarrage automatique : ❍ oui ❍ non

Recherche de panne : ❍ oui ❍ non Entrée des fusibles : ❍ oui ❍ non

Chute de puissance : ❍ oui ❍ non Accél./décél. réglable : ❍ oui ❍ non

Harmoniques Fournisseur : .....

Charge non linéaire : ❍ moins de 20% ❍ plus de 20% Spécifier : .....%

EVR sur circuit séparé : ❍ oui ❍ non Niveau de protection demandé : ❍ bas ❍ moyen ❍ haut

Protection utilisée : ❍ réacteurs ❍ filtres ❍ transformateur d'isolation

Les informations colligées dans la présente liste visent à vous donner un portrait global de votre équipement et de ses spécifications. Ces informations peuvent être comparées à celles données par le fabricant afin d'identifier les équipements qui ont le meilleur potentiel d'économie d'énergie, de vous permettre de réviser vos procédures d'entretien et les politiques d'achat, et ainsi d'optimiser le rendement de vos équipements.

10 COMPRESSEURS ET SYSTÈMES À AIR COMPRIMÉ

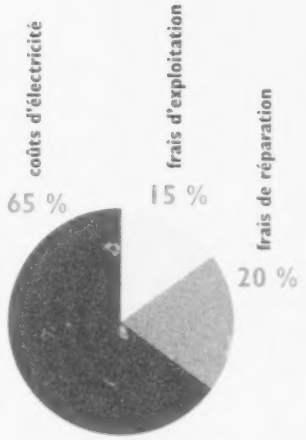
L'amélioration de la conception et du fonctionnement permettra de réaliser des économies d'énergie de 20 à 50 %.

L'air comprimé circule dans les installations modernes à travers un réseau de conduites. Il est largement utilisé dans des procédés pour faire fonctionner des équipements. Bien que l'air comprimé soit une source d'énergie polyvalente et pratique, c'est l'une des plus dispendieuses dans l'industrie.

Un compresseur ordinaire fonctionnant à 100 psi produit environ 4 pi^3/mn par hp, soit environ 0,23 kW par pi^3/mn. Avec un coût d'électricité moyen de 0,06 $ par kWh, 1 pi^3/mn = 0,014 $/h.

Au bout de 8 000 heures, 1 pi^3/mn coûtera 112 $ et un compresseur de 100 hp, 44 800 $. Chaque perte de pression de 2 psi, dans un système à air comprimé de 100 hp, coûtera environ 450 $ de plus par an.

Il importe de déterminer la qualité d'air nécessaire sur les plans de la pression minimale, de la propreté, de la lubrification et de l'humidité. La qualité de l'air a un effet notable sur la consommation d'énergie par les filtres, le système de refroidissement et les compresseurs. L'instrumentation nécessite un air de meilleure qualité que les outils manuels. Par exemple, plusieurs filtres doivent être changés aux 8-10 psig. Le renforcement d'un filtre à particules par un filtre coalescent pour obtenir de l'air plus propre que nécessaire peut faire chuter la pression à travers les deux filtres de 15 psig ou plus, ce qui augmente les coûts de 7,5 %. Quand vous achetez des composants, n'oubliez pas que les coûts d'électricité et d'entretien, ainsi que les pertes de revenu associées aux arrêts, échelonnés sur la vie utile de l'équipement, dépassent le prix d'achat.



VENTILATION DES COÛTS D'UN COMPRESSEUR

Les deux grandes catégories de compresseurs sont les compresseurs dynamiques et les compresseurs volumétriques. Les compresseurs dynamiques ont des turbines axiales ou centrifuges. Ils impriment une vitesse à l'air, qui exerce ensuite une pression. Les compresseurs volumétriques, plus communs, comprennent les appareils à piston alternatif, à vis ou à palettes, et les compresseurs volumétriques à deux rotors. En général, les compresseurs à piston alternatif sont plus efficaces que les rotatifs, mais leur entretien peut être plus onéreux. Les compresseurs à deux étages permettent d'importantes économies d'énergie par rapport aux compresseurs à un seul étage.

Conception du moteur

Les enceintes anti-bruit peuvent faire monter la température. Veillez à ce qu'une bonne ventilation empêche la température ambiante de dépasser 75 °C.

10.1 POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Réinstallation des entrées d'air à l'extérieur

Dans la mesure du possible, installez les entrées d'air dans des endroits à l'extérieur où l'air est propre, sec et frais. La quantité d'humidité double à tous les 65 °C environ. La densité de l'air augmente quand la température baisse, ce qui fait augmenter le rendement global du système.

Dispositifs de contrôle des compresseurs

Les compresseurs chargent le système à un niveau de pression donné et le maintiennent par différents moyens, y compris : charge-décharge, modulation à l'entrée, recirculation, ventilation, arrêt-démarrage et contrôle de vitesse par mécanisme d'entraînement à vitesse réglable (EVR). Choisissez une pression et installez les compresseurs nécessaires. Des économies moyennes de 35 % ont été obtenues en utilisant des EVR pour contrôler les compresseurs pneumatiques.

Séchoirs à air comprimé

L'air atmosphérique qui entre dans un compresseur contient toujours de la vapeur d'eau (humidité). À 24 °C et à 75 % d'humidité relative, environ 3,6 litres d'eau par hp entre chaque jour dans le compresseur. La condensation peut créer des problèmes fonctionnels dans l'équipement en aval et entraîner de la corrosion, des pertes de pression élevées, de l'accumulation de calcaire et des fuites d'air. Choisissez des systèmes de filtration occasionnant le moins de pertes de pression possible.

Refroidissement de l'air et de l'huile

On estime que le refroidissement d'un compresseur représente environ de 5 à 7 % du coût total. Les systèmes de compresseur dégagent de grands volumes de chaleur perdue de piètre qualité, énergie qui peut toutefois être utilisée efficacement par quelques procédés industriels comme l'alimentation de chaudières, le chauffage ou les systèmes de ventilation.

Méthodes de rechange plus efficaces

Des applications de basse pression comme l'agitation, l'éjection de pièces, le nettoyage, le refroidissement et l'évacuation de vapeur peuvent être faites efficacement à coût bien moindre par des ventilateurs ou des amplificateurs pneumatiques.

DIAMÈTRE DES FISSURES	COÛT ANNUEL
0,3 cm (1/8")	2 000 $
0,6 cm (1/4")	8 100 $
0,9 cm (3/8")	18 500 $

Les fuites constituent la plus grande perte d'énergie associée à l'usage de l'air comprimé

Dans une usine, les fuites d'air représentent habituellement 20 % de l'air employé et, dans certains cas, atteignent jusqu'à 50 %. Serrez les raccords, remplacez les tuyaux crevés, mettez des robinets de purge mus par pression.

Les coûts sont approximatifs et fondés sur ces données : 0,06 $/kWh et 8 000 h.

Évaluation des fuites

Pour repérer efficacement les fuites, il est recommandé d'employer un détecteur à ultrasons. Il suffit d'appliquer de l'eau savonneuse sur les joints, les soupapes et les raccords, et de chercher les bulles. Déterminez le volume des fuites en fermant tous les appareils en charge et en mesurant la durée pendant laquelle le compresseur restera en marche après la pressurisation du système. Cette donnée temporelle et le taux d'air comprimé produit vous aideront à calculer les mètres cubes d'air perdus en fuites à chaque heure.

Utilisation de la pression la plus basse possible

Si une application particulière demande une pression beaucoup plus élevée que les autres, envisagez l'utilisation d'un compresseur séparé ou d'un survolteur dimensionné pour cette application. Plus la pression employée en usine est basse, plus le taux de fuites sera faible. Utilisez un régulateur de pression aussi souvent que possible.

Utilisation des dimensions adéquates pour réduire les pertes

La perte de pression dans les conduites est proportionnelle à leur longueur, et le carré de la vitesse de l'air comprimé dans celles-ci est inversement proportionnel au diamètre de la conduite. Pour chaque perte de pression de 2 psi, le système devra consommer 1 % de plus de puissance. Maintenez la vitesse de l'air sous les 9 m/s.

Réduction du cycle du compresseur

Installez un réservoir d'une capacité de 1 gallon pour chaque pi3/mn de capacité du compresseur.

11 SITES WEB – INFORMATION SUR LES SYSTÈMES MOTEURS

La liste suivante n'est pas une liste exhaustive de publications, de sources d'information et de sites Internet. Nous nous sommes efforcés de présenter un sommaire des sources d'information objectives connues au moment où nous avons dressé cette liste. Les renseignements au sujet d'applications particulières, des moteurs, des ventilateurs, des pompes et des compresseurs peuvent être obtenus auprès des fabricants, fournisseurs et consultants.

1. **Ressources naturelles Canada :**

   www.rncan.gc.ca/

   - *Utilisez l'outil de recherche pour obtenir de l'information sur les ventilateurs, les pompes, les moteurs électriques, etc.*

2. **Hydro One Networks :**

   http://customer.hydroonenetworks.com/

   - *Ensuite, allez à "Small Business", "Machines, Equipment and Motors" et "Motors".*

3. **Air Movement and Control Association, Arlington Heights, Illinois:**

   www.amca.org/

   - *Ensuite, cliquez sur «Publications Catalogue» et «Application Guides».*
   - *Fans and Fan Systems (n° 201-90).*
   - *Field Performance Measurement of Fan Systems (n° 203-90).*

4. **Electrical Apparatus Service Association, Inc., St. Louis, Missouri:**

   www.easa.com/

   - *Ensuite, cliquez sur « Other Resources » et « Directory of Technical Books ».*
   - *Ce site présente une liste de publications techniques sur les moteurs et leur entretien.*

5. **Drives Mag, Milwaukee, Wisconsin:**

   www.drivesmag.com/

   - *Vous y trouverez des articles et des liens clés sur les mécanismes d'entraînement, leur sélection et leur installation.*

6. **The U.S. Department of Energy:**

   www.oit.doe.gov/bestpractices/

   - *Vous y trouverez entre autres de l'information sur les moteurs, la vapeur et l'air comprimé.*

Pour toute information ou pour obtenir des exemplaires du présent document, s'adresser à :

Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne
a/s Ressources naturelles Canada
Office de l'efficacité énergétique
580, rue Booth, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Téléphone : (613) 995-6839
Télécopieur : (613) 947-4121
Courriel : cipec.peeic@nrcan.gc.ca

Office de l'efficacité énergétique
Office of Energy Efficiency

Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada est un organisme dynamique qui a pour mandat de renouveler, de renforcer et d'élargir l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.